

Die Maschinisierung der Münzfertigung Entwicklung und technikhistorische Stellung der Prägetechnik zwischen 1450 und 1850

Benad-Wagenhoff, Volker

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 60, 2008,
S.213-283



Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Die Maschinisierung der Münzfertigung Entwicklung und technikhistorische Stellung der Prägetechnik zwischen 1450 und 1850

VOLKER BENAD-WAGENHOFF

Vorbemerkungen

Der folgende Beitrag ist der Versuch, aus der münzkundlichen und münzgeschichtlichen Literatur eine Vorstellung zu gewinnen, wie zwischen 1500 und 1850 Münzen hergestellt und dabei handarbeitliche Prozesse durch maschinelle abgelöst worden sind. Ausgangsbasis dafür ist eine langjährige Beschäftigung mit der Geschichte der Fertigungstechnik, vor allem mit dem industriellen Maschinenbau zwischen 1800 und 1950. Sie führte von der Entwicklung spanabhebender Werkzeugmaschinen zu Problemen der Massenfertigung, des Werkzeugbaus und der Blechbearbeitung und zu den trennenden und umformenden Werkzeugmaschinen. Dabei geriet fast zwangsläufig die frühneuzeitliche Münztechnik in den Blick, eine frühe Form der Massenfertigung, in der Maschinen entstanden sind, die später in der industriellen Blechverarbeitung eine wichtige Rolle spielen sollten.

Der Beitrag versteht sich als Skizze, die die handarbeitlichen und maschinellen Verfahren technologisch umreißen und bewerten will. Die thermochemischen Prozesse des Legierens und Schmelzens von Münzmetall bleiben dabei außen vor. Im Mittelpunkt stehen die Prozesse der Formgebung, denn nur sie sind seit etwa 1500 von einer Maschinisierung betroffen. Wärmebehandlungen und Reinigungsvorgänge werden gestreift, wenn sie für die Formgebung wichtig gewesen sind. Außerdem wird versucht, die Münzherstellung in größeren technikhistorischen Zusammenhängen zu sehen, etwa durch einen kurzen Vergleich mit dem fast zeitgleich entstandenen Buchdruck oder durch einen Blick auf die im 19. Jahrhundert sich entfaltende industrielle Blechverarbeitung.

In Kapitel 1 wird der zentrale Begriff der Maschinisierung erläutert. Dann folgen grundsätzliche Überlegungen zur Münze als Gegenstand der Fertigung (Kapitel 2). Kapitel 3 beschreibt die Praxis der Hammerprägung als Ausgangspunkt für die frühneuzeitliche Maschinisierung. Deren unterschiedliche Ansätze wiederum werden im umfangreichen Kapitel 4 dargestellt, wobei immer gefragt wird:

- Wann ist die Maschine erstmals belegt, generell und im Münzwesen?
- Wie ist sie aufgebaut und wie funktioniert sie?
- Wie viel Presskraft bzw. Umformarbeit kann mit ihr aufgebracht werden?
- Welche Vorteile hat sie und welche Nachteile?
- Für welche weiteren Bereiche der Münzfertigung eignet sie sich noch?

Das Kapitel schließt mit einer vergleichenden Bewertung der verschiedenen frühneuzeitlichen Herstellungsweisen von Münzen. Kapitel 5 skizziert den Beginn der industriellen Münzherstellung in Großbritannien und die Entwicklung der Prägemaschinen bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts. Den Schluss bildet ein kurzer Ausblick auf die industrielle Umformtechnik bis ins 20. Jahrhundert (Kapitel 6). Ein Anhang befasst sich mit den Fertigungsspuren, die die verschiedenen Werkzeuge und Maschinen an Münzen der Frühen Neuzeit hinterlassen.

1. Maschinisierung und Industrialisierung

Unter Maschinisierung wird hier die Ablösung der Handarbeit durch Maschinenarbeit verstanden. Der oft verwendete Begriff der „*Mechanisierung*“ reicht dafür nicht aus, weil Handarbeit meist schon mit mechanischen Hilfsmitteln betrieben wird und die Maschinisierung eine spezielle, weitergehende Stufe von Mechanisierung darstellt. Die Maschinisierung der Produktion ist der technische Kern des weltweiten Industrialisierungsprozesses, der in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts mit der Industriellen Revolution in Großbritannien einsetzte und bis heute andauert.¹ Sie begann in dem Bereich, den man Fertigungstechnik nennt, also bei der Formveränderung von Werkstoffen. Die herkömmliche Hand-Werkzeug-Technik, in der Menschen mit Geschick, Körperkraft und einfachem Handwerkzeug dem Material zu Leibe rückten, wurde abgelöst von einer Maschinen-Werkzeug-Technik, in der Werkzeug und Werkstück in eine Bearbeitungsmaschine eingespannt sind und von ihr zwangsläufig gegeneinander geführt werden.² Die Handarbeit verschwand zwar nicht, trat aber zurück gegenüber der nun dominanten Maschinenarbeit. Die meisten modernen Produkte können nach Menge und Qualität nur noch maschinell erzeugt werden.

Maschinisierung ist bis heute eine Antwort auf Beschränktheiten der menschlichen Arbeitsfähigkeit. Qualifizierte, geübte Handarbeit, die sich ohne Zeitdruck betätigt, bringt erstaunliche Dinge hervor. Sie kann durch geschickte Auswahl von Verfahren und durch geduldiges Wiederholen immer feinerer Bearbeitungsschritte sehr hohe

¹ Zur Industriellen Revolution als epochalem Einschnitt siehe PAULINYI 1989; BENAD-WAGENHOFF 1990.

² Zu den Begriffen Hand-Werkzeug-Technik und Maschinen-Werkzeug-Technik siehe PAULINYI 1989, S. 22 ff.; PAULINYI 1999, S. 16 ff.

Präzision erreichen. Kunsthandwerkliche und feinmechanische Spitzenleistungen belegen das seit dem Altertum. Wenn es aber darum geht, große Kräfte und Energien auf den Arbeitsgegenstand wirken zu lassen und hohe Stückzahlen in kurzer Zeit zu erzeugen, erweist sich der Mensch als Schwachstelle, als limitierender Faktor für die Produktion. Mit der Maschinisierung machte man das Arbeitsergebnis weitgehend unabhängig von der Kraft und Geschicklichkeit des Arbeiters. Statt der unmittelbaren Werkstoffveränderung übernahm dieser nur noch Materialzufuhr, Steuerung und Regelung. Aber das war lediglich ein erster Schritt: Auch diese Funktionen begann man schon um 1800 zu maschinisieren, sodass aus handgesteuerten Arbeitsmaschinen nach und nach Automaten wurden.

Obwohl Maschinen erst in der Industriellen Revolution zum dominierenden Faktor der Produktion wurden, gab es sie schon lange vorher: Mahlwerke, Pressen, Kräne und Katapulte nutzte man seit der Antike, Stampfen, Hammerwerke und Räderuhren seit dem Mittelalter. Meist dienten sie größeren Zwecken wie dem Bewegen schwerer Lasten oder dem geometrisch unbestimmten Zerkleinern von Rohstoffen. Wenn es dagegen um die präzise Formgebung von Werkstoffen ging, waren Maschinen selten. Dort, in der Fertigungstechnik, ließen sie sich beinahe an den Fingern abzählen: Webstuhl, Seidenzwirnmühle und Wirkstuhl im Textilgewerbe, Buchdruckerpresse und Kupfertiefdruckpresse im Druckgewerbe und schließlich die Maschinen für die Formgebung von Münzen: Schlagwerk, Fallwerk, Schraubenpresse, Walzwerk, Taschenwerk und Rändelmaschine.

2. Münzcharakter und Fertigungsprozess

Massenhaftigkeit und Austauschbarkeit

Die im 20. Jahrhundert entwickelte Norm DIN 8580 hat als Arbeitsgegenstand der Fertigungstechnik ganz allgemein und sehr treffend den *geometrisch bestimmten festen Körper* definiert.³ Das passt natürlich auch auf die geprägte Münze. Sie ist dabei aber ein ganz besonderes Ding. Sie dient im Warenverkehr als Messmittel, das Tauschwerte verschiedener Größe verkörpert. Wie eine auf dem Zollstock abgelesene Anzahl von Zentimereinheiten eine bestimmte Länge, so repräsentiert eine Anzahl von Geldstücken den Wert einer bestimmten Warenmenge. Um diese Funktion als Maßrepräsentant zu erfüllen, müssen Münzen gleichen Nennwertes massenhaft vorhanden und untereinander gleich sein in Gehalt, Gewicht und Gestalt.

Diese Gleichförmigkeit lässt sich nie vollkommen realisieren. Zwar konnte man schon in der Frühen Neuzeit den Edelmetallgehalt und das Gewicht der einzelnen

³ DIN 8580.

Münze in engen Grenzen festlegen. Aber bei der geometrischen Gestalt war eine halbwegs genaue Annäherung an die Gleichförmigkeit so aufwändig, dass man keine großen Stückzahlen fertigen konnte. Erst um 1800, in der Industriellen Revolution, erreichte man in jeder Hinsicht einen Stand, der den praktischen Anforderungen genügte. Bis dahin waren die meisten Münzen geometrisch sichtbar unvollkommen.

Das begünstigte allerlei Bestrebungen, den Wert umlaufender Geldstücke zu mindern und sich die Wertdifferenz illegal anzueignen. Kipper und Wipper nutzten die Gewichtsabweichungen. Mit einer einfachen Waage trennten sie die schwereren Münzen eines Nennwertes von den leichteren, schmolzen sie ein und verkauften die Edelmetalllegierung mit Gewinn aus den angesammelten Gewichtsüberschüssen. Häufig wurde durch Abschneiden oder Wegfeilen von Material in der unregelmäßigen, weil unzureichend geprägten oder schon beschädigten Randzone der Münzen Edelmetall abgezweigt.

Professionelle Geldnutzer schützten sich vor den dadurch drohenden Wertverlusten, indem sie beschädigte oder in der Herkunft fragwürdige Münzen durch Wiegen und Probieren überprüften. Um diesen aufwändigen Vorgang zu vereinfachen und die kriminellen Praktiken einzudämmen, gab es auf lange Sicht nur ein Mittel: Man musste bei möglichst gleich bleibendem Prägebild und engen Gewichtstoleranzen die Münzkörper rundherum, am Rand und auf beiden Flächen, vollkommen „geometrisch bestimmen“. Wenn man dann darauf achtete, dass fehlerhafte, verschlissene und beschädigte Stücke schnell ausgetauscht wurden, erhielt man einen umlaufenden Bestand aus gleichmäßig gut erhaltenen Münzen, in dem willkürlich beschädigte Stücke auffielen und als minderwertig zurückgewiesen werden konnten.⁴ Der Weg dahin war allerdings lang und von Rückschlägen, erneuten Vorstößen und Kompromissen gekennzeichnet. Aber von den ersten Münzen der griechischen Antike lässt sich durch Mittelalter und Frühe Neuzeit die Ausbreitung der Prägung auf dem Münzkörper verfolgen, bis sie diesen gänzlich umschließt. In der Industriellen Revolution kam man dann der idealen Münzgestalt hinreichend nahe.

Dieselbe Gleichförmigkeit im Hinblick auf die geometrische Gestalt findet sich übrigens bei Maschinenteilen, die in moderner Massenproduktion, im so genannten Austauschbau, gefertigt werden. Dort geht es darum, die Teile so exakt gleich zu fertigen, dass bei der Montage keine anpassende Nachbearbeitung mehr nötig wird. Sie können einfach aus der Kiste genommen und zusammengefügt werden. Diese Art der Fertigung entfaltete sich erst im 19. Jahrhundert bei massenhaft nachgefragten Kleinmechanismen wie Handfeuerwaffen, Nähmaschinen, Uhren, Büromaschinen und Fahrrädern. Die geometrische Gleichförmigkeit ist dabei zumindest vordergründig technisch bedingt, sie soll den Montagevorgang vereinfachen.

⁴ FLÖRKE 1805, S. 690.

Bei den Münzen trat die Forderung nach geometrischer Gleichförmigkeit viel früher auf. Sie mussten zwar nicht in den Funktionszusammenhang einer Maschine passen, aber die Anforderungen an geometrische Genauigkeit und deren technische Konsequenzen für die in der Herstellung eingesetzten Maschinen waren ähnlich. In Einzelfällen stellten sich hier schon Jahrhunderte vor der Industrialisierung typisch hochindustrielle Qualitätsanforderungen an die Metallbearbeitung. Deshalb kann die frühneuzeitliche Münzprägung als ein frühes Experimentierfeld für die moderne massenproduzierende Blechverarbeitung gelten.

Wertbestimmung, Gestalterzeugung, Formspeicherung

Der Wert der einzelnen Münzen wird bei ihrer Herstellung bestimmt durch das Festlegen von Gehalt, Gewicht und Gestalt. Das geschah in zwei getrennten Herstellungsphasen. Beim Schmelzen und Legieren wurde der Edelmetallgehalt der Legierung festgelegt, also die Stoffzusammensetzung und damit der Wert pro Gewichts- und Volumeneinheit. Nebenbei bestimmte das auch die mechanischen Eigenschaften des Münzmetalls. In der anschließenden Formgebung definierte man die anderen beiden Aspekte der Münze. Beim Stückeln und Justieren wurde mit dem Gewicht die Edelmetallmasse und damit der Wertinhalt der einzelnen Münze bestimmt. Durch das abschließende Prägen erhielt der Münzkörper seine geometrische Gestalt, die als Garantiestempel und im Idealfall auch als Volumensicherung den Wertinhalt schützte.

Zum Erzeugen von geometrischen Körpergestalten gibt es verschiedene Verfahren, die hier nicht alle aufgezählt werden müssen. Sie spielen sich immer zwischen zwei Extremen ab. Im einen Fall könnte man vom Prinzip der Formerzeugung durch Werkzeugbewegung reden. Ein Beispiel ist das Gravieren von Münzstempeln: Mit einer annähernd punktförmigen Werkzeugschneide wird Span um Span des Materials vom Rohling abgetrennt und die Gestalt schrittweise durch Werkzeugbewegungen in allen drei Raumrichtungen herausgearbeitet. Gleichförmigkeit der Produkte lässt sich dabei kaum erreichen, weil die Bewegungen dafür ganz exakt wiederholt werden müssten. Im anderen Fall, beim Prinzip der Formspeicherung im Werkzeug, ist die Gestalt weitgehend als Negativform im Werkzeug gespeichert und wird durch einen einfachen Eingieß- oder Pressvorgang mit Werkstoff gefüllt. Damit erreicht man Gleichförmigkeit sehr schnell und einfach. Deshalb hat sich dieses Prinzip für die Münzprägung angeboten.

Formgebungsabschnitte der Münzfertigung

Der Prozess der Formgebung von Münzen war natürlich wesentlich aufwändiger und vielschrittiger, als der gängige Begriff der „*Münzprägung*“ vermuten lässt. Man kann recht gut fünf technologische Abschnitte unterscheiden, in die sich sowohl die technischen Geräte und Arbeitsschritte der Hammerprägung als auch die der unten beschriebenen maschinellen Herstellungsweisen einordnen lassen (s. u. **Abb. 17**):

- Durch Strecken gab man den gegossenen Barren die erforderliche Dicke.
- Beim Schneiden trennte man die einzelnen Münzplatten von den Zainen.
- Mit dem Justieren wurden sie auf das richtige Gewicht gebracht.
- Durch Schlagen erhielten die Platten eine prägefertige Form.
- Erst das eigentliche Prägen gab den Münzen ihre endgültige Gestalt.

Je nachdem, ob in Handarbeit oder in einer der maschinellen Herstellungsweisen gefertigt wurde, unterschieden sich die Reihenfolge dieser Abschnitte und ihr Anteil am Gesamtprozess. In jedem Fall mussten zwischen die einzelnen Formgebungsschritte immer wieder Wärmebehandlungen eingeschaltet werden, um das durch die kalten Umformvorgänge hart und spröde gewordene Metall weich zu glühen. Dass die Gestalt der Münzen bis gegen 1800 geometrisch nicht genau genug bestimmt war, lag nicht nur an der immer noch praktizierten Hammerprägung, sondern auch an den Unzulänglichkeiten der moderneren maschinellen Herstellungsweisen, die seit etwa 1500 in Gebrauch gekommen waren.

3. Hammerprägung⁵: Potential und Probleme

Was oben allgemein über die Möglichkeiten qualifizierter Handarbeit gesagt wurde, gilt auch für die Hammerprägung. Es gibt Münzen und Medaillen, die handarbeitlich gefertigt wurden und sich trotzdem von guten maschinengeprägten Exemplaren kaum unterscheiden. Aber das sind Stücke wie Ausbeutetaler oder Prunkmedaillen, die nicht für den Geldumlauf bestimmt waren, sondern zur Schatzbildung oder für repräsentative Zwecke und nur in relativ kleinen Serien gefertigt wurden. Um solche fast ideale Münzgestalt massenhaft und schnell zu erzeugen, war die Hammerprägung kein geeignetes Mittel. Wir wollen aus fertigungstechnischer Perspektive klären, woran das lag.

⁵ Detaillierte Beschreibungen des Arbeitsprozesses liefern der Bericht von HENRY POUILLAIN 1617, in: SELLWOOD 1986 und CALVÖRS Beschreibung der Abläufe in der Münze Zellerfeld von 1763 und bei FLÖRKE 1805, S. 652–661.

Das Dilemma aus Gewichts- und Gestaltbestimmung

Bei der Hammerprägung wurden die gegossenen Barren oder Rohzaine mit dem Handhammer zu rechteckigen Blechen oder langen, schmalen Zainen gestreckt und dann mit der Schere gestückelt. Darauf folgte sofort das Justieren der Münzplatten mit Schere⁶ oder Feile. Es entstanden dabei zwar gewichtsmäßig genau bestimmte, aber durch das Schneiden mit der Schere sehr unregelmäßige, grob rund-eckige Platten. Man stand vor dem Dilemma, dass vom Gewicht und damit vom Volumen nichts mehr weggenommen werden durfte, man aber von einer kreisrunden, prägefertigen Gestalt der Platte weit entfernt war. Diese konnte nur durch langwieriges Umformen in zwei einander immer wieder abwechselnden Arbeitsgängen erreicht werden.



Abb. 1: Rundschlagen von Münzplatten, Glasfenster des Münzmeisters Zentgraf aus Schaffhausen, 1567. Schweizerisches Landesmuseum Zürich.

⁶ FLÖRKE 1805, S. 654, mit Benehmschere; nach Henry Poullains Bericht von 1617 bei SELLWOOD 1986, S. 118, wurde in Paris 1617 mit der Stückelschere justiert.

Beim Rundschiagen wurde ein ganzer Packen Münzplatten mit einer so genannten Fass-Zange auf einem Amboss gehalten und mit einem Hammer an den Plattenrändern rund geklopft (**Abb. 1**). Dabei entstanden am Rand der Platten Stauchungen, die durch das anschließende Ausschlagen partiell beseitigt wurden. Man legte die Platten einzeln oder paarweise auf einen flachen Amboss und schlug sie mit dem Hammer flach. Diese Arbeitsgänge wiederholt man mehrmals. In Paris wurde 1617 sechs Mal rund und sechs Mal flach geschlagen, in Zellerfeld 1763 sieben Mal rund und drei Mal flach.⁷ Dazwischen wurde jeweils weich gegläut. Die gesamte Prozedur erforderte einen enormen Aufwand an Zeit und Brennstoff, was letzten Endes dem Bestreben geschuldet war, aus den vorab im Gewicht festgelegten Platten möglichst gleichförmige Rohlinge zu erzeugen für Münzen, die der Idealgestalt möglichst nahe kommen sollten. Abschließend wurden die „schwarzen“, d. h. vom Glühen oxidierten Platten in einer Beize „weiß“ bzw. „auf Farbe“ gesotten, um ihren Edelmetallcharakter hervortreten zu lassen. Dann scheuerte man sie mit feinem Sand oder Kohlenstaub in einer Drehtrommel sauber, spülte sie mit klarem Wasser und trocknete sie über sanftem Feuer.

Der Prägevorgang

Nun erst folgte als abschließender Umformschritt das Prägen. Zwischen zwei stählernen Stempeln erhielt die Platte auf Vorder- und Rückseite ihre Münzbilder. Der Unterstempel steckte dabei mit einem Dorn fest in einem Holzblock. Der Präger legte die Platte auf den Unterstempel und setzte darauf den kurzen Oberstempel, den er so mit der Hand umfasste, dass seine Finger die Platte und das Ende des Unterstempels umschließen konnten. Damit zentrierte er Werkzeuge und Werkstück (**Abb. 2**).⁸ Mit einem Handhammer von bis zu 3 kg Gewicht⁹ schlug er dann einmal oder mehrmals auf den Oberstempel. Bei großen Münzen arbeiteten zwei Mann am Prägestock: Der eine setzte die Platte und einen längeren Oberstempel auf und hielt diesen mit zwei Händen, während der andere stehend mit einem bis über 10 kg schweren Hammer¹⁰ zuschlug. Die Obergrenze für die Umformarbeit je Schlag dürfte im Einmannbetrieb bei ca. 20 Nm¹¹ gelegen haben, im Zweimannbetrieb bei 100 Nm oder mehr.¹²

⁷ Vgl. HENRY POUILLAINS Bericht von 1617 bei SELLWOOD 1986, S. 120 ff.; FLÖRKE 1805, S. 655 nach CALVÖR 1763.

⁸ BECKENBAUER 1978; siehe auch HENRY POUILLAINS Bericht von 1617 bei SELLWOOD 1986, S. 122.

⁹ Schätzwert nach HAMMER 1993, S. 222 und HAMMER/FRIEBE 2002, S. 24.

¹⁰ Laut mündlicher Mitteilung von Ulrich Sieblist wiegt ein schwerer Prägehammer im Museum *Alte Münze* in Stolberg etwa 11 kg.

¹¹ Nm (Newtonmeter) ist die geltende physikalische Einheit für mechanische Energie, also für das Vermögen, mechanische Arbeit zu leisten. Früher wurde hierfür die knapp zehn Mal größere Einheit Kilopondmeter (kpm) verwendet.

¹² HAMMER 1993, S. 223, ermittelt für Einmannbetrieb mit einem 3 kg schweren, mit Schwung geschlagenen Münzhammer überschlägig 22 Nm. Für Zweimannbetrieb am Schlagwerk schätzt er ≥ 100

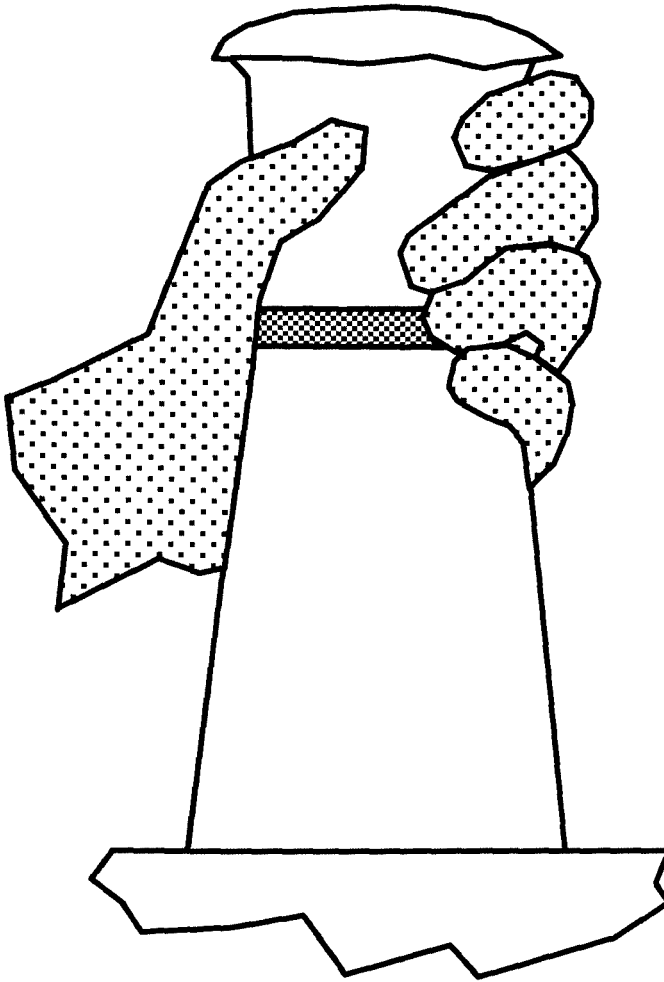


Abb. 2: Zentrieren von Oberstempel, Münzplatte und Unterstempel durch die Hand des Prägers.
(Skizze des Verfassers).

Nm; wir setzen diesen Wert auch für die Hammerprägung ein, weil die ergonomischen Bedingungen gleich sind.

Durch das Prägen mit Handstempeln und Hammer entstand eine Münze, an der zu den schon an der Platte vorhandenen Unvollkommenheiten weitere hinzugekommen waren (siehe Anhang). Es gab keine Prägung des Randes. Wegen der geringen Umformarbeit war die Prägetiefe des einzelnen Schlages begrenzt und nahm mit wachsendem Münzdurchmesser ab, bei mehrfachem Zuschlagen konnte es zu Doppelprägungen kommen. Oberstempel, Unterstempel und Platte wurden häufig gegeneinander verschoben. Obwohl sich all das durch sorgfältige Arbeit vermindern ließ, blieb die geometrische Bestimmtheit der Münzgestalt unvollkommen. Münzgröße und Stückzahlproduktivität waren beschränkt.

Werkzeugprobleme mit den Stempeln

Weitere Ungleichheiten zwischen Münzen einer Emission ergaben sich aus der Qualität und der Herstellungsweise der Prägestempel. Diese bestanden aus einem schmiedeeisernen Grundkörper, an den am prägeseitigen Ende eine Stahlplatte angeschmiedet war.¹³ Nach dem Eingravieren des Münzbildes wurde der Stahl auf eine Temperatur um 800°C erhitzt und durch Abschrecken in Wasser oder Öl gehärtet. Damit das Stahlgefüge nicht glashart blieb und bei den ersten Schlägen platzte, gab man ihm durch Anlassen auf 100–200°C eine gewisse Zähigkeit zurück.

Das Anfertigen der Prägewerkzeuge verlangte sehr viel Erfahrung. Es war ein Dauergeschäft in allen Münzwerkstätten, denn die Stempel waren außerordentlich empfindlich und gingen schnell zu Bruch. Als Regel galt, dass Oberstempel nur halb solange halten wie Unterstempel.¹⁴ Durch das Härten hervorgerufene Spannungen im Gefüge verstärkten die Neigung zu Brüchen. Schräges Aufsetzen des Oberstempels führte zu unregelmäßiger Belastung der Stempelflächen und häufig zu Beschädigungen. Direktes Aufeinanderstoßen der gehärteten Flächen war besonders gefährlich.

Die Stempel standen fast nie die gesamte Prägung einer Münzmenge durch, und solange jeder einzeln in Handarbeit angefertigt wurde, waren die Münzbilder der Ersatzstempel nie mit denen der Zerbrochenen identisch. Deshalb gab es auch in einer Emission, die aus nominell gleichen Münzen bestand, immer Abweichungen im Münzbild. Erst als man im 17. Jahrhundert anfang, größere Partien und schließlich das ganze Bild durch das kopierende Verfahren des Einsenkens mit einer Patriz zu erzeugen (siehe unten), konnte man größere Gleichförmigkeit im Münzbestand anstreben.

¹³ *Stahl* bezeichnete bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts eine technische Eisenlegierung mit 0,4–2,1 % Kohlenstoff, die gehärtet werden konnte und deshalb fast ausschließlich für Werkzeuge Verwendung fand. *Schmiedeeisen* enthielt deutlich unter 0,4 % Kohlenstoff und war nicht härtbar, es entsprach in etwa den heutigen Baustahlsorten.

¹⁴ VELDE 1997, S. 1; BESLY 1993, S. 123.

Die Langlebigkeit der Hammerprägung

Trotz aller Schwierigkeiten blieb die Hammerprägung konkurrenzfähig. Verglichen mit maschinellem Betrieb waren die Ausstattungskosten für die Werkstatt gering.¹⁵ Beim Stückeln gab es weniger Abfall als bei maschinellen Verfahren. Und schließlich hatten die Maschinen, wie wir sehen werden, ihre eigenen technischen Probleme, ganz abgesehen davon, dass Herstellung und Instandhaltung der Werkzeuge mindestens genauso heikel waren. Die Hammerprägung blieb daher bis weit ins 18. Jahrhundert eine angemessene Prägetechnik für den kleinen Betrieb.

Immer wieder wird darauf hingewiesen, dass schon die Hammerprägung eine Massenfertigung war. Das ist richtig, es müsste aber technikhistorisch genauer geklärt werden, worin sich die verschiedenen Formen der handarbeitlichen und der maschinengestützten Massenfertigung unterscheiden. Wir kennen zwar die unterschiedlichen Schrittfolgen der Bearbeitung, wir wissen aber nicht genau, unter welchen Bedingungen man zum maschinellen Betrieb übergegangen ist. Weiter unten werden wir auf diesen Punkt zurückkommen.

4. Ansätze und Probleme der Maschinisierung

Maschinenarbeit ermöglicht in der Regel höhere Stückzahlproduktivität als Handarbeit. Maschinen machen aber nicht alles besser als der Handarbeiter. Der Mehraufwand, der für sie getrieben werden muss, rechnet sich nicht sofort und auch nicht immer. Sehr viel hängt davon ab, wie gut die Maschinerie in den Fertigungsablauf eingepasst wird.

Verfahrensalternativen

In der maschinellen Münzfertigung, deren Ausbreitung um 1500 begann¹⁶, gab es im Grunde zwei Gruppen formgebender Verfahren. Die schlagenden und pressenden Verfahren arbeiteten wie die Formgebung mit dem Handhammer intermittierend, mit Umform- und Rückhubbewegung. Die formende Kraft wirkte in

¹⁵ LÜCKE 2005, S. 47 ff.; die Rupsteinsche Kostenschätzung von 1766 veranschlagt für eine Werkstatt-einrichtung in Stolberg insgesamt 2066 Reichstaler, davon für Maschinen 1560 Reichstaler, also ca. 77 % der Gesamtkosten. Hammerprägung würde etwa denselben Umfang an Prägestempeln brauchen, und in geringem Umfang Mehrausstattung an Handwerkzeug. Man kann also meines Erachtens davon ausgehen, dass die Kosten der Ausstattung dann bei etwa 25 % lägen.

¹⁶ MOSER/TURSKY 1977, S. 111, erwähnen für Tirol Archivmaterial über nicht näher beschriebene Münzmaschinen aus dem Jahre 1493. Als Beleg können ferner die Skizzen Leonardo da Vincis (1452–1519) gelten, und die Medaillenprägungen Donato Bramantes (um 1444–1514), siehe WEDD 1960, S. 119 ff. und S. 97.

einem Schlag auf die gesamte zu bearbeitende Fläche und musste entsprechend groß sein. Bei den ziehenden, walzenden und rollenden Verfahren dagegen war die umformende Kraft kleiner. Sie wirkte annähernd linear, auf einem schmalen Streifen, der über die zu bearbeitende Fläche des Werkstücks kontinuierlich voranschritt.

Zudem arbeiten Walzverfahren nach dem Rotationsprinzip. Sie erlauben flüssigere Produktionsabläufe und sind energetisch und maschinendynamisch günstiger als die Verfahren mit hin- und hergehender Arbeitsbewegung, weil die bewegten Massen durchlaufen können und nicht dauernd abgebremst und in Gegenrichtung beschleunigt werden müssen. Im Zuge der Industrialisierung haben sie sich deshalb in vielen Gewerbebereichen durchgesetzt. Geradezu idealtypisch zeigt sich das im Hüttenwesen, wo nach 1820 das Hammerwerk bei der Erzeugung von Stab- und Profileisen durch das Walzwerk abgelöst wurde.¹⁷ Auch in der Drucktechnik eroberten sich die walzenden Verfahren mit den als *Schnellpressen* bezeichneten Zylinder-Druckpressen nach 1812 und den Rotationsdruckmaschinen nach 1865 eine bedeutende Stellung.¹⁸

Ein Vergleich von Münzwesen und Drucktechnik

Die Drucktechnik bietet sich überhaupt zum Vergleich mit der Münzfertigung an, denn sie weist eine Reihe wichtiger Parallelen auf (**Abb. 3**). Das gilt vor allem für den Buchdruck, also die Vervielfältigung von Text und Bild im Hochdruckverfahren. In beiden Fällen handelt es sich um maschinengestützte Techniken der Massenproduktion, die sich lange vor der Industriellen Revolution etabliert haben¹⁹ – und zwar fast gleichzeitig, nach 1450 bzw. nach 1500. Beide nutzten die Schraubenpresse als eines ihrer technischen Kernelemente und arbeiteten mit komplexen formspeichernden Werkzeugen, nämlich der aus Bleilettern und Holzschnittplatten zusammengesetzten Druckform bzw. den gravierten Münzstempeln.

¹⁷ PAULINYI 1989, S. 131 ff.

¹⁸ BENAD-WAGENHOFF 1999, S. 112 ff.

¹⁹ BENAD-WAGENHOFF 1999.

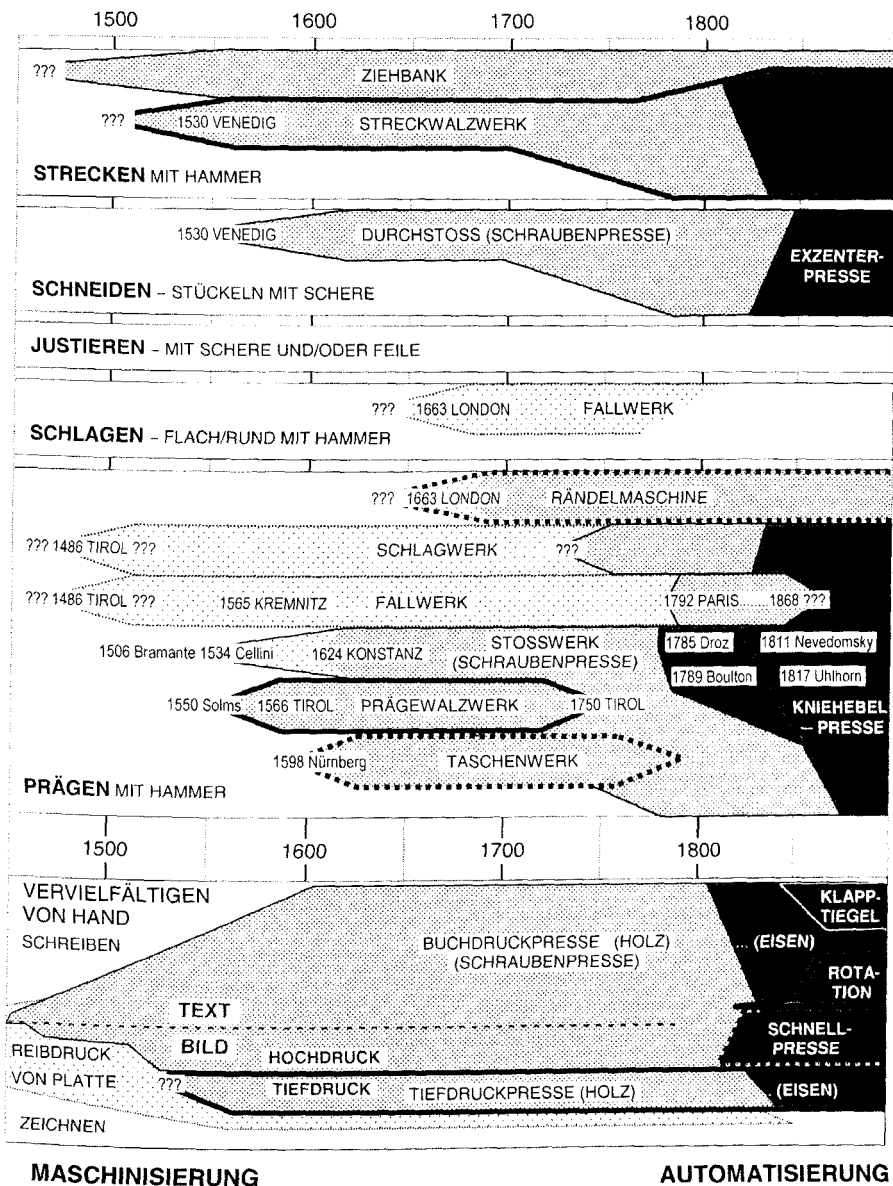


Abb. 3: Entwicklung der Münztechnik und der Drucktechnik. Industrielle Maschinen sind dunkelgrau angelegt, frühneuzeitliche mittelgrau, hellgraue Flächen markieren unsichere Belege. Orts- und Personennamen mit Jahreszahl verweisen auf Beginn oder Ende der Anwendung bestimmter Techniken. Dick eingerahmte Felder markieren Verfahren des Walzens (umfassend - durchgezogene Linie; partiell - gestrichelte Linie). (Skizze des Verfassers).

Es zeigen sich aber auch gravierende Unterschiede. Durch den Buchdruck wurde die alte handarbeitliche Technik der schriftlichen Vervielfältigung in Randbereiche abgedrängt. Im Münzwesen dagegen blieb die alte Hammerprägung bis in die zweite Hälfte des 18. Jahrhunderts eine gleichberechtigte Alternative. Ein einheitlicher Stand der Maschinenteknik lässt sich nur für den Buchdruck feststellen. Dort war er nach 1500 erreicht und blieb mit der Schraubenpresse als zentraler Maschine bis nach 1800 unverändert. Bei der Münztechnik dagegen gab es bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts ein Nebeneinander maschineller Herstellungsweisen. Während man zum Strecken der Zaine Walzwerke und zum Ausschneiden von Platten oder Münzen Schraubenpressen benutzte, konnten zum Prägen entweder pressende oder walzende Maschinen zum Einsatz kommen. Die Bedeutung des Walzens nahm im Münzwesen nach der Mitte des 18. Jahrhunderts ab, sie kamen nur noch beim Strecken der Zaine zum Zuge, beim Prägen setzte sich das Pressverfahren dauerhaft durch. In der Drucktechnik etablierte sich die mit Walzen arbeitende Tiefdruckpresse zwar auch schon im 16. Jahrhundert, aber das betraf nur einen eher von Künstlern betriebenen Randbereich. Im Buchdruck fanden die walzenden Verfahren erst nach 1800, im Zuge der Industrialisierung, größere Verbreitung, drängten dann aber die Pressverfahren immer weiter zurück.

Über die Gründe dieser Unterschiede lassen sich einige Vermutungen anstellen. Die dem Johannes Gutenberg (1400–1468) zugeschriebenen Erfindungen – die Legierung des Letternmetalls, das Gießinstrument für die Drucktypen, die Drucker-schwärze und die Druckpresse – waren gründlich durchgearbeitet und gut aufeinander abgestimmt. Der Bedruckstoff Papier besaß ein hohes Maß an Gleichförmigkeit und war leicht zu bearbeiten. Der bedruckte Bogen als mit Farbe beschichtetes, flächiges Produkt war daher wesentlich einfacher herzustellen als die im Relief geprägte Münze aus sehr widerständigem, metallischem Werkstoff. Das Nebeneinander der verschiedenen Maschinen und Herstellungsweisen für Münzen deutet zudem auf Unzulänglichkeiten der Maschinenteknik. Es gab viele unvollkommene Lösungen, die miteinander konkurrieren konnten, aber keine halbwegs perfekte, die alle anderen aus dem Feld hätte schlagen können.

Talerprägung und Maschinisierung

Die Anfänge der Maschinisierung werden allgemein mit der Einführung großer Silbermünzen seit dem letzten Viertel des 15. Jahrhunderts in Verbindung gebracht. Diese später als Taler bezeichneten Münzen repräsentierten den gleichen Wert wie ein Goldgulden, hatten aber wegen des Wertunterschiedes der Metalle ungefähr das achtfache Gewicht und etwa den doppelten Durchmesser.²⁰ Die Umformarbeit, die

²⁰ HAMMER 1993, S. 259 f., dort Maße und Gewichte für florentinische Goldgulden und Joachimstaler Guldengroschen.

bei der Prägung so großer Münzen zu leisten war, lag entsprechend höher und konnte bei Hammerprägung im Einmannbetrieb nicht mit einem einzigen Schlag aufgebracht werden.²¹ Man musste mehrfach zuschlagen, und dafür gab es zwei Möglichkeiten (**Abb. 4**).

Im ersten Fall hielt man den Oberstempel senkrecht und ließ ihn auf die gesamte zu prägende Fläche wirken. Die Prägewirkung reduzierte sich dabei mit jedem Schlag, weil das Metall sich durch die Umformung verfestigte. Unbeabsichtigte Lageänderungen von Platte oder Oberstempel konnten ein mehrfaches Prägebild ergeben. Die Gefahr wuchs, wenn man große Mengen Taler auszumünzen hatte und in der Eile unachtsam arbeitete. Um Doppelprägung zu vermeiden, konnte man die Stempel vorsichtig in die unvollständige Prägung des vorangegangenen Schlages einrasten.²² Weitere Verbesserung brachte es, die Münzen nach jedem Schlag weich zu glühen. Die Prägewirkung war dann immer gleich gut. Allerdings kam man so nicht auf hohe Stückzahlen.

Im zweiten Fall setzte man den Oberstempel absichtlich etwas schräg auf, bearbeitete nur einen Sektor der Münzoberfläche und wiederholte das mehrfach, bis das Bild rundum geprägt war. Wegen der kleineren Prägefläche ließ sich der Bildsektor meist mit dem ersten Schlag tief genug ausprägen. Insgesamt entstand eine polygonal gewölbte Münzoberfläche²³, Doppelprägungen waren in den überlappenden Randzonen der Sektoren zu erwarten.

Diese zweite Methode dürfte vor allem im Einmannbetrieb genutzt worden sein, denn dann war sie für den Präger einigermaßen sicher, weil er Hammer und Stempel selbst führte und ihre Bewegungen sicher koordinieren konnte. Im Zweimannbetrieb war sie wegen der größeren verfügbaren Umformarbeit nicht nur überflüssig, sie wäre auch gefährlich gewesen, weil der Zuschläger kein genaues Gefühl für die Stellung des Stempels haben konnte, aber mit einem u. U. viel schwereren Hammer

²¹ Die notwendigen Werte zeigt folgende Tabelle, nach einer Überschlagsrechnung für sächsische Engelgroschen (HAMMER/FRIEBE 2002, S. 23 f.), die für Gulden und Taler nachvollzogen wurde. Der Taler erfordert mehr Umformarbeit als die bei Einmannbetrieb verfügbaren 22 Nm (HAMMER 1993, S. 223).

Münze	Florentiner Gulden	Engelgroschen	Joachimstaler
Material	Gold	Silber	Silber
Gewicht g	3,5 g	6,4 g	27,2 g
Durchmesser D	20 mm	28 mm	39,5 mm
Dicke t	0,58 mm	1 mm	2,07 mm
Volumen V_{ges}	181 mm ³	614 mm ³	2600 mm ³
Umformvolumen V	72 mm ³	246 mm ³	1040 mm ³
Umformarbeit W	2,4 Nm	10,3 Nm	34,5 Nm

²² ANSELL 1871, S. 1; SELLWOOD 1986, S. 122.

²³ BESLY 1993, S. 123.

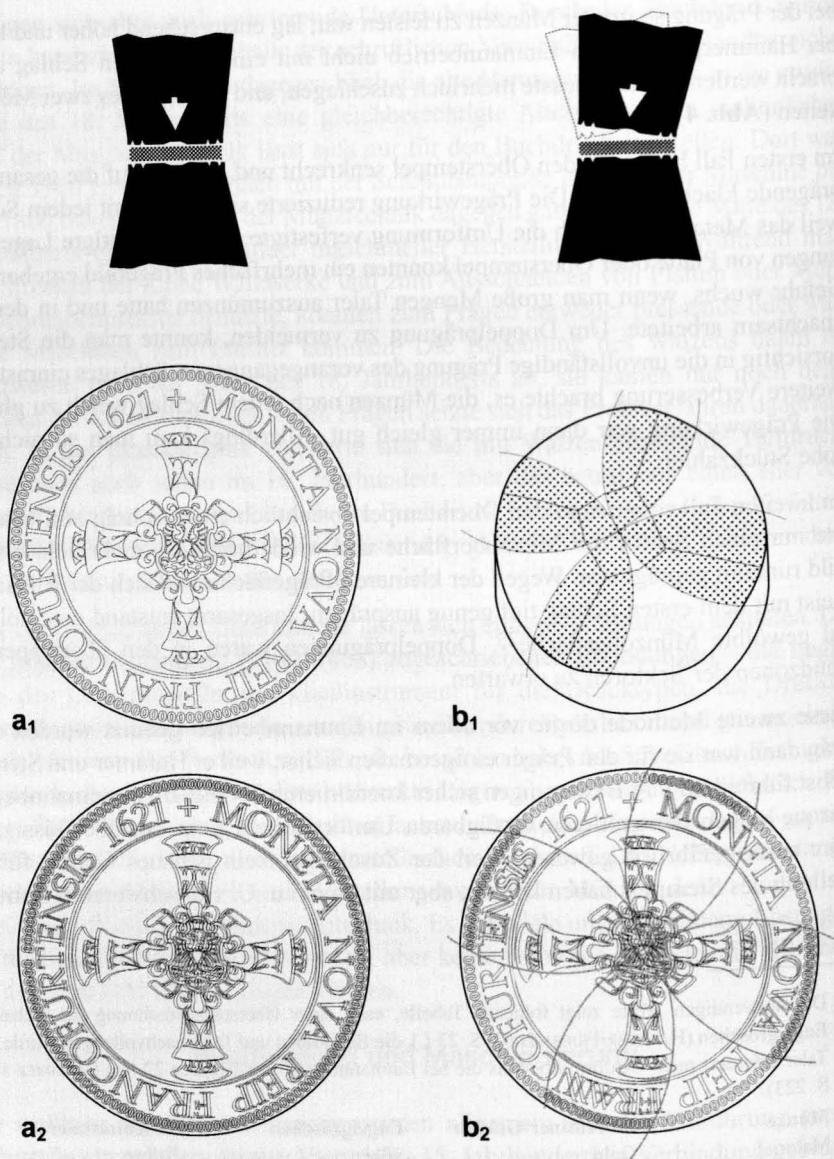


Abb. 4: Hammerprägung mit senkrechtem und mit schrägem Oberstempel.
 (a₁) einwandfreie Prägung, (a₂) flächige Doppelprägung, (b₁) polygonal gewölbte Oberfläche und
 Sektoren mit Doppelprägung (grau angelegt), (b₂) sektorale Doppelprägung. (Skizze des Verfassers).

arbeitete, der am schräg gestellten Stempel noch leichter abrutschen und den Aufleger verletzen konnte als im ersten Fall.

Um sicher zu gehen, konnte der Aufleger für den Meißel eine einfache Vorrichtung, z. B. eine Zange, benutzen, die seine Hände aus der Gefahrenzone brachte. In England hat man dafür *twisted hazel sticks* verwendet, also Haselnussruten, die irgendwie miteinander und um den Oberstempel verdreht waren.²⁴ Damit hatte man zugleich ein federndes Element, mit dem sich dieser elastisch auf Münzplatte und Unterstempel spannen ließ. Eine optimale Methode hätte aber die genaue Ausrichtung und Führung der Stempel garantieren und zugleich die Hände des Auflegers schützen müssen. Das wurde mit dem Schlagwerk erreicht.

Schlagwerke

Das Schlagwerk (**Abb. 5**), häufig ungenau als „*Klippwerk*“ bezeichnet²⁵, war die einfachste Lösung zur Maschinisierung der Hammerprägung. Die Vermutung, dass es schon bei den frühen Tiroler Talern 1486 Verwendung gefunden hat, ist daher plausibel, auch wenn sie nicht belegt ist. Mit dem Schlagwerk ließ sich nur die erste der beiden beschriebenen Prägemethoden anwenden, aber nicht die zweite, denn man konnte den Oberstempel nicht mehr ankippen. Die Hände des Auflegers waren nämlich durch ein Gestell ersetzt, das den zu einem vierkantigen Schieber vergrößerten Oberstempel senkrecht und zentriert zum Unterstempel führte. Der Aufleger hob den Schieber über einen Steigbügel und eine Wippe, legte eine Platte auf den Unterstempel und senkte den Schieber ab. Dann schlug der Zuschläger mit einem schweren Hammer auf das obere Ende. Die Umformarbeit lag genauso hoch wie bei der Hammerprägung mit zwei Arbeitern (ca. 100 Nm), denn die ergonomische Anordnung war die gleiche.

Für den mehrfachen Prägeschlag bot das Schlagwerk große Vorteile. Dank der Führungen lagen die Stempelflächen immer parallel und gleich ausgerichtet zueinander; Bildversatz und Mehrfachprägung wurden selbst bei schnellem Arbeiten weitgehend vermieden. Insgesamt dürften die Münzen gleichförmiger geworden und die Unfallgefahr für den Aufleger gesunken sein.

Im Prinzip war das Schlagwerk auch zum Ausschneiden kreisrunder Platten geeignet. Für diesen Einsatz als „*Klippwerk*“ im strengen Sinne scheint es aber keine Belege zu geben. Gut belegt ist dagegen für das Ende des 18. Jahrhunderts die Massenproduktion von Kleinmünzen auf dem Schlagwerk. Dabei wurde nur ein

²⁴ ANSELL 1871, S. 1.

²⁵ MEDING 1987.

²⁶ FLÖRKE 1805, S. 971, hält das Schlagwerk für die älteste Prägemaschine, die direkt aus der Handhammerprägung mit zwei Mann hervorgegangen sei.

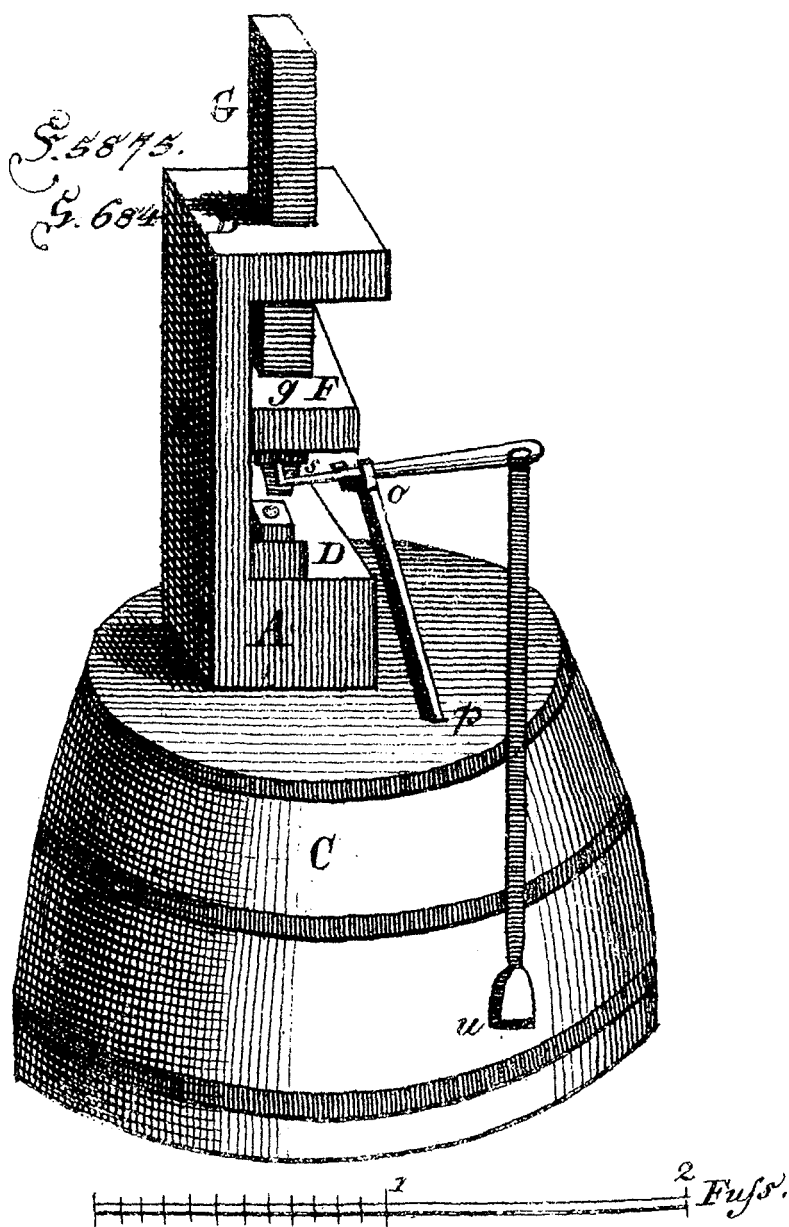


Abb. 5: Schlagwerk um 1760. FLÖRKE 1805, Tafel 8, Abb. 5875 zu S. 684, nach CALVÖR 1763.

Schlag je Münze geführt.²⁷ Wenn der Zuschläger im so genannten Prellschlag seine Armmuskeln als Gegenfederung nutzte, um die Rückprallenergie des Hammers zu speichern, ließ sich die Schlagfrequenz beträchtlich erhöhen.²⁸ Der Aufleger musste sich dabei dem schnellen Rhythmus anpassen, wodurch die Unfallgefahr sicher stieg.

Fallwerke

Das Fallwerk oder der Fallhammer (**Abb. 6**) fand als Pfahlramme spätestens zu Beginn des 15. Jahrhunderts Verwendung.²⁹ Es wird wie das Schlagwerk, und wieder ohne ausreichenden Beleg, als Maschine der frühen Tiroler Talerprägung von 1486 diskutiert.³⁰ Sicher ist, dass es später gelegentlich zum Prägen verwendet wurde.³¹ Technologisch macht die frühe Zuordnung Sinn, denn das Fallwerk ist eine einfache, aber effektive Maschine. Es besteht aus einem Hammerbär, der in senkrechten Führungen gleitet, mit einem Seil gehoben und auf den Amboss fallen gelassen wird. Die Schlagarbeit ist vom Bärgewicht und von der Fallhöhe abhängig und kann dementsprechend gesteigert werden. Sie erreichte ohne weiteres 150–200 Nm.³² Darin lag der Hauptvorteil des Fallwerkes gegenüber dem Schlagwerk.

Wie das Schlagwerk ist auch das Fallwerk mit einfachem Schlag benutzt worden. 1792 hat man in Paris Kupfermünzen in höheren Stückzahlen so geprägt, und 1868 erreichten die Arbeiter auf diesen noch immer benutzten Fallwerken sogar Schlagfrequenzen von 50 Münzen pro Minute.³³ Gelegentlich hat man das Fallwerk auch zum Planschlagen von Münzplatten verwendet, die beim Ausschneiden mit schrägem Schneidstempel (siehe unten) verbogen worden waren. 1662 wurden solche Platten in der Londoner Münze stapelweise unter eine *drop press* oder *flattig machine* gelegt.³⁴ Schließlich diente die Maschine im 17. Jahrhundert auch zum Einsenken von Prägestempeln mit Patrizen³⁵, eine Arbeit, die später allgemein auf dem Balancier erledigt wurde (siehe unten).

²⁷ FLÖRKE 1805, S. 686 nach CALVÖR 1763.

²⁸ FLÖRKE 1805, S. 967 ff., schneller Betrieb des Schlagwerkes mit federndem Hebel als Auswurfhilfe.

²⁹ WEDEL 1960, S. 101: Pfahlramme vor 1430; FELDHAUS 1914, S. 856 deutet antike Verwendung an.

³⁰ WALTHER 1939, S. 149; COOPER 1988, S. 74.

³¹ COOPER 1988, S. 74; in Krennitz 1565; WEDEL 1960, S. 129 ff., S. 158 ff. mit Abb. aus FELIBIEN 1699, dessen Fallwerk allerdings nicht zum Prägen, sondern bei der Herstellung der Prägestempel zum Einsenken der Prägebilder mittels Patrizenstempeln verwendet wird.

³² FRÉMONT 1916, S. 23 f., zitiert Bärgewicht und Fallhöhe nach COULOMB, aus denen sich ca. 150 Nm ergeben.

³³ FRÉMONT 1916, S. 23 f.; dabei hat es sich wohl um eine Art Rekordversuch gehandelt, bei dem die Arbeiter zeigen wollten, dass man mit neueren Maschinen mithalten konnte.

³⁴ CRAIG 1953, S. 162, leider ohne weiteren Quellenbeleg.

³⁵ FELIBIEN 1699, S. 249 ff., Tafel 54.

PLANCHE LIV.

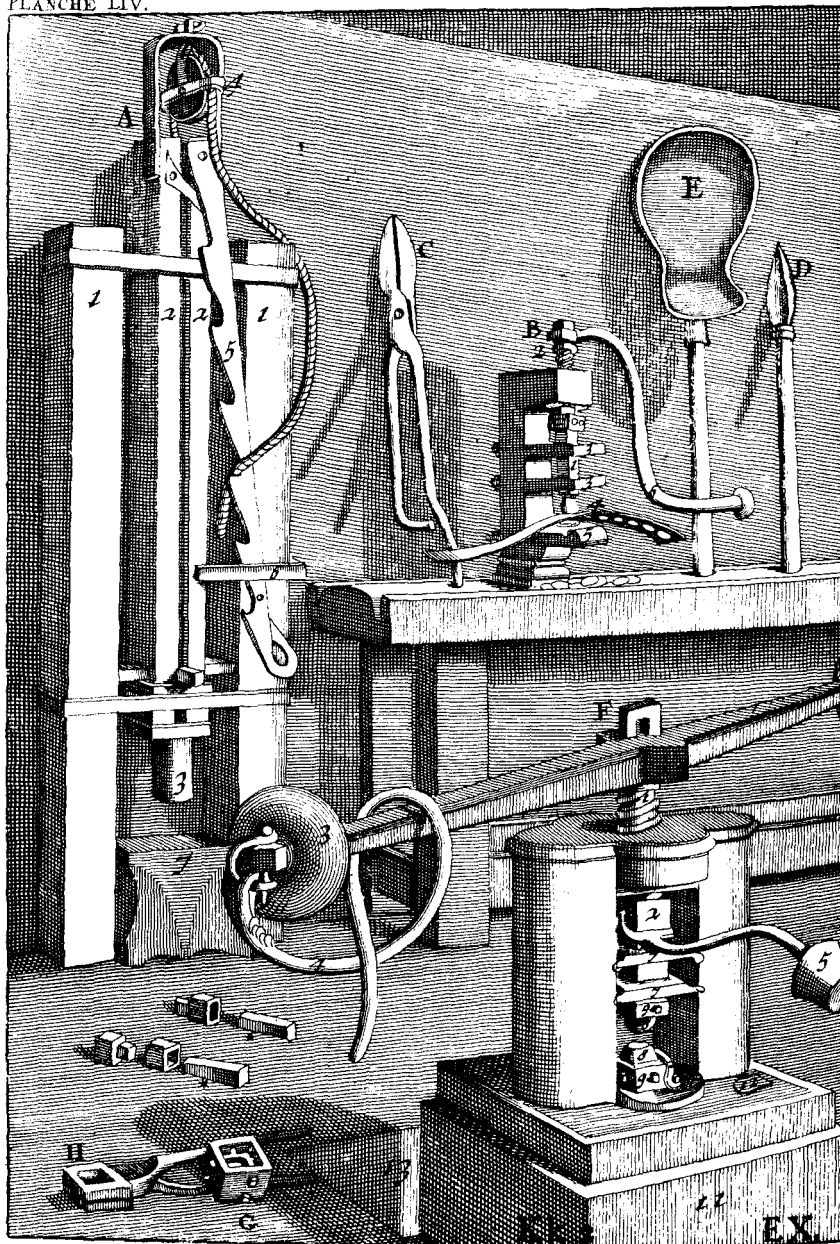


Abb. 6: Maschinen und Geräte zum Herstellen von Münzen und Medaillen, um 1670.
 Links ein Fallwerk (A) zum Einsenken von Prägestempeln mit großflächigen Bildpunzen,
 rechts der Mitte ein Durchstoß (B) zum Ausschneiden von Münzplatten, vorn ein Stoßwerk oder
 Balancier (F) zum Prägen. FÉLIBIEN 1699, S. 257, Tafel 54.

Schraubenpressen im dynamischen Einsatz

Schraubenpressen sind seit dem ersten Jahrhundert belegt (**Abb. 7**) und waren auch in der mittelalterlichen Technik verbreitet. Bis nach 1400 dienten sie fast ausschließlich einer verfahrenstechnischen Trennung flüssiger Stoffe von festen, nämlich dem Auspressen von zerstampften Ölfrüchten oder Weintrauben. Sie wurden dabei statisch genutzt, d. h. zum Aufbringen einer konstant wirkenden Kraft in einem länger dauernden Presszyklus. Das änderte sich im 15. Jahrhundert. Die Schraubenpressen wurden von nun an auch fertigungstechnisch eingesetzt, zur Formveränderung von Werkstoffen, vor allem zum Bedrucken von Buchseiten und zum Prägen von Münzen. Der Betrieb erfolgte mit kurzen Kraftstößen in schnell sich wiederholenden Presszyklen. Er war dynamisch, d. h. Schwungmassen, die man beschleunigt hatte, wurden abgebremst und ihre Bewegungsenergie in Presskraft und Umformarbeit umgewandelt. Anfangs diente nur der Körper des Arbeiters als Schwungmasse, seit dem frühen 17. Jahrhundert aber waren Münzpressen regelmäßig mit Schwunggewichten versehen (siehe unten).

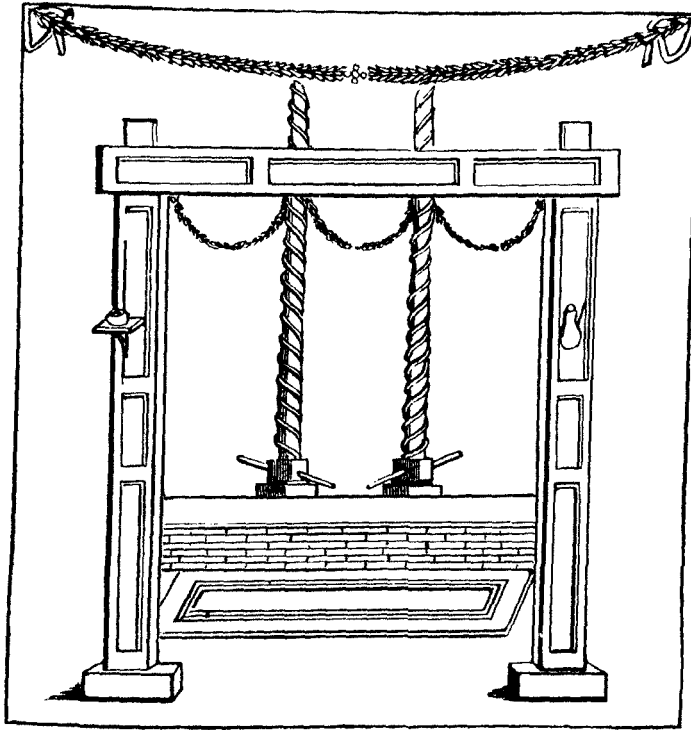


Abb. 7: Doppelte Schraubenpresse zum Glätten von gewalkten Stoffen. 1. Jahrhundert nach Christus. Wandbild aus einer Tüchwalkerei in der Straße des Merkur in Pompeji. BLÜMNER 1912, S. 188, Abb. 73.



Abb. 8: Drucken mit Körperschwing, Druckermarken des Jean Roigny, Paris 1533.

Diese neue Einsatzweise zeichnete sich zuerst bei den Schraubenpressen für den Buchdruck ab. Sie entstanden um 1450 zusammen mit den anderen Gutenbergschen Erfindungen und hatten nach 1500 einen Funktionsaufbau erreicht, die sich bis 1800 nicht mehr wesentlich änderte.³⁶ Mit ihnen erreichte man im 16. Jahrhundert eine Steigerung der Produktivität um den Faktor 100 bis 1.000 gegenüber der handschriftlichen Vervielfältigung. Während in einer Stunde weniger als eine Buchseite sorgfältig abgeschrieben werden konnte, bedruckte man in derselben Zeit ca. 200 Bögen mit je 2 Seiten. Das verlangte neben einer speziellen Ausstattung der Presse³⁷ einen eingespielten Arbeitsrhythmus der beiden Drucker. Der eigentliche Pressvorgang war dabei nicht immer bloß statisch. Der am Bengel ziehende *Pressmeister* legte sich bei Bedarf mit seinem Gewicht ins Zeug und brachte auch Körperschwung zum Einsatz (**Abb. 8**). Man wird hier zumindest von einer halb dynamischen Arbeitsweise reden können.

Schraubenpressen für Münzen und Medaillen kamen etwas später, seit etwa 1500, in Gebrauch. Bei den frühen Exemplaren lässt sich noch nicht eindeutig sagen, ob sie dynamisch benutzt worden sind. 1507 hat Donato Bramante (1444–1514) für Papst Julius II. (1503–1513) Siegel aus Blei mit einer Schraubenpresse hergestellt³⁸, über deren Aufbau und Betriebsweise leider nichts Genaueres bekannt ist. 1533/1534 fertigte Benvenuto Cellini (1500–1571) Bronzemedallien für Papst Clemens VII. (1523–1534) an. Die Stücke wurden nach einem Bleiabdruck vorgegossen und auf einer Schraubenpresse fertig geprägt, die recht genau beschrieben ist (siehe den Beitrag von HERMANN MAUÉ in diesem Band).³⁹ Es bleibt zwar unklar, ob statisch oder dynamisch gearbeitet wurde, man darf aber vermuten, dass die vier Männer an der über 3 m langen Handspake gelegentlich mit Körperschwung gearbeitet haben. Aus der Zeit um 1530 stammt schließlich auch ein venezianischer Holzschnitt, der zwei an einem hölzernen Gebäudepfeiler montierte Schraubenpressen zeigt, die zum Ausschneiden runder Münzplatten verwendet wurden.⁴⁰ Der Handgriff ist – wie bei kleinen Durchstößen häufig – nicht mit Gewichten versehen, sodass auch hier der Körperschwung zur Überwindung des Schnittwiderstandes gedient haben muss.

Bei den Schraubenpressen für die Münzherstellung entwickelten sich zwei Grundformen. Die kleinere, leichtere wurde zum Ausschneiden von Platten verwendet und gemeinhin als *Durchstoß* oder *Durchschlag* bezeichnet. Die größere, schwerere diente zum Prägen und hieß in Frankreich *Balancier*, wegen der waageähnlichen

³⁶ BENAD-WAGENHOFF 1999.

³⁷ BENAD-WAGENHOFF 1999, S. 100 ff.

³⁸ WEDEL 1960, S. 97.

³⁹ WEDEL 1960, S. 123 f.; CELLINI 1974, S. 63 ff. mit einleuchtender Rekonstruktion: zweifelhafte Rekonstruktion bei COOPER 1988, S. 52.

⁴⁰ SELLWOOD 1993.

Anordnung des Schwengels mit den beiden Schwunggewichten. Im Deutschen nannte man sie oft *Stoßwerk*. Außerdem gab es die sehr treffende Bezeichnung *Einwurf* oder *Anwurf*. Sie beschreibt den Antriebsvorgang: Die Arbeiter werfen die Gewichte auf der vom Hebelarm bestimmten Kreisbahn. So speichern sie ihre körperliche Arbeit in kinetischer Energie, die beim Pressschlag in Kraft und Umformarbeit zurückverwandelt wird. Das ist der rein dynamische Betrieb.

Durchstoß oder Durchschlag

Ein frühes Beispiel für einen Durchstoß wurde eben schon angeführt. Meist waren diese Maschinen (**Abb. 6 und 9**) auf einem Arbeitstisch montiert und bestanden aus schmiedeisernen Ständern und Traversen, die mit Keilen und später auch mit Verschraubungen zusammengehalten wurden. Durch eine bronzene Mutter im oberen Querstück schraubte sich die Spindel mit Handhebel und Schwunggewichten auf und nieder. Am unteren Ende drückte sie auf einen Schieber, der in justierbaren Führungen am Gestell glitt und den Schneidstempel zum Ausschneiden der Platten trug. Der Schieber war mit der Schraube drehbar verbunden, sodass er beim Rücklauf derselben mitgenommen wurde. Auf dem unteren Querstück des Rahmens lag die Matrize, die mit Stellschrauben ausgerichtet werden konnte. Gelegentlich nutzte man als Schneidwerkzeug ein hohles Locheisen⁴¹, wobei dann statt der Matrize eine weiche Unterlage aus Hartholz oder Blei oder verwendet werden musste, damit die empfindliche spitzwinklige Schneide nicht beschädigt wurde.

Der Schraubmechanismus ermöglichte schnell und ohne Umstände den Rückhub des Schneidstempels und das Abstreifen des gelochten Zains. Wenn die Schneidstempelfläche angeschrägt wurde, verringerte das die Schnittkraft erheblich, führte aber zu gebogenen Platten, die unter Umständen mit dem Hammer oder mit Fallwerken plan geschlagen werden mussten.⁴² Sogar rändeln konnte man auf dem Durchstoß, wenn man die Kontur der Matrize und des Schneidstempels mit feinen Zähnen versah.⁴³ Diese Werkzeuge dürften aber in der Herstellung aufwändiger und im Gebrauch anfälliger gewesen als die glatten.

⁴¹ Ein derartiges Werkzeug, aber aufklappbar, um die Platten leichter entnehmen zu können, hat Leonardo da Vinci diskutiert, siehe WEDEL 1960, S. 120 f.

⁴² FLÖRKE 1805, S. 873; SELLWOOD 1993, S. 111 f., CRAIG 1953, S. 162.

⁴³ So Mitte 18. Jahrhunderts in Clausthal, vgl. FLÖRKE 1805, S. 667 f. und S. 678.

S. 5892. a). S. 868.

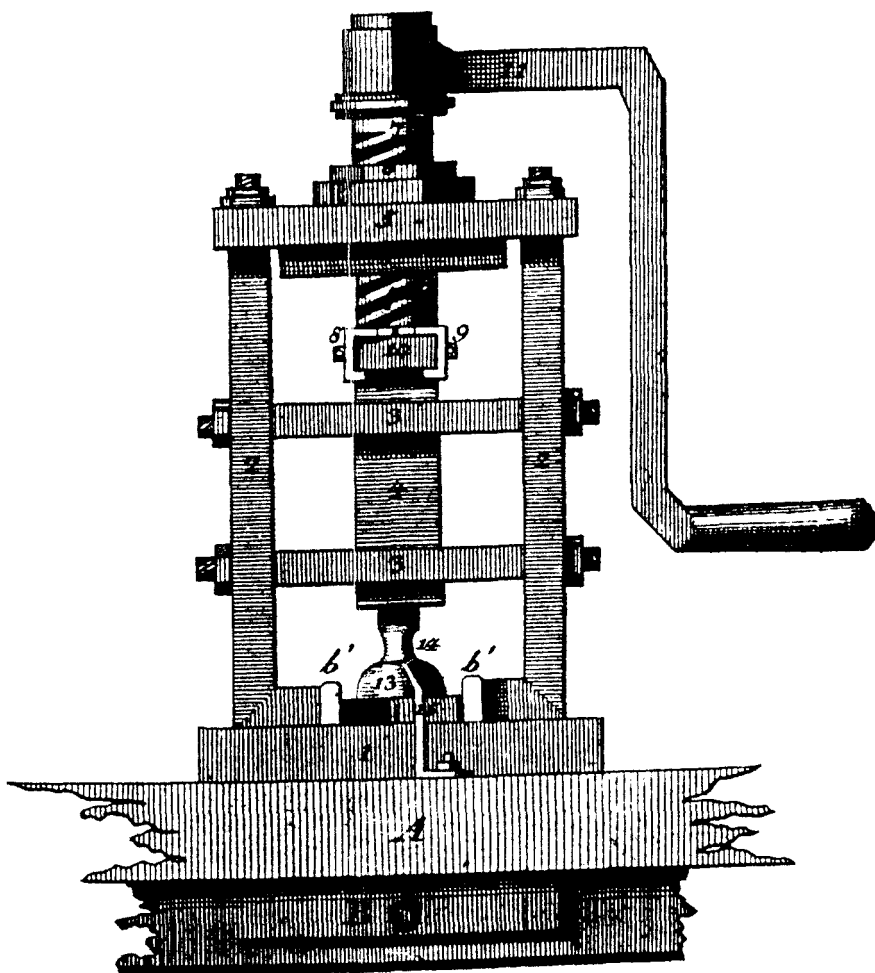


Abb. 9: Durchstoß zum Ausschneiden der Münzplatten, Ende des 18. Jahrhunderts.
Das Gestell ist hier, verglichen mit der Maschine auf Abb. 6, mit geschlossenem Rahmen gebaut.
FLÖRKE 1805, Tafel 12, Abb. 5892 a zu S. 868.

Stoßwerk, Balancier, Einwurf oder Anwurf

Große Schraubenpressen zum Prägen, mit Schwunggewichten am Schwengel, erscheinen in den 1620er Jahren zum ersten Mal auf Bildquellen (Abb. 10).⁴⁴ Etwa zur gleichen Zeit werden sie für die Münzstätten in Frankfurt am Main⁴⁵ und in Darmstadt⁴⁶ und sicher auch anderswo angeschafft. Die großen, zum Prägen verwendeten Stoßwerke waren mit ihrem schweren Gestell, dem schwierig herzustellenden Schraubmechanismus und der aufwändigen Einbindung ins Münzgebäude mechanisch sehr komplex und entsprechend teuer.⁴⁷ Das hatte mit Aufbau und Wirkungsweise zu tun. In den Schlag- und Fallwerken ging die vertikale Kraftwirkung des fallenden Hammers ins Fundament, ohne das Gestell mit den Führungen zu belasten. Bei den Schraubenpressen verspannte die Spindel mit der beim Pressschlag entstehenden Kraft den geschlossenen Gestellrahmen. Dieser musste deshalb



Abb. 10: Stoßwerke auf dem Glasfenster von 1624 aus Konstanz. Rosgartenmuseum Konstanz.

⁴⁴ Liegnitzer Rechenpfennig von 1621, vgl. AUST 1995; Konstanzer Glasfenster von 1624, siehe z. B. COOPER 1988, S. 6.

⁴⁵ Den Hinweis auf das Inventar der Frankfurter Münze von 1618 bis 1621 verdanke ich Konrad Schneider.

⁴⁶ SCHNEIDER 2000, S. 63.

⁴⁷ LÜCKE 2005, S. 47 ff.; die Rupsteinsche Kostenschätzung von 1766 veranschlagt für zwei Balanciers zusammen 1200 Reichstaler, also ca. 60 % der Gesamtkosten. Alle anderen Maschinen (2 Streckbänke, 2 Durchschnitte, 2 Rändelmaschinen und 1 Drehbank für die Streckwalzenbearbeitung) liegen einzeln zwischen 30 und 100 und zusammen bei 390 Reichstalern.

sehr robust gebaut sein. Er wurde entweder aus größeren Schmiedeeisenteilen zusammengesetzt oder in einem Stück aus Eisen oder Glockenbronze gegossen. In diesem Falle geriet er wegen der geringeren Festigkeit der Gusswerkstoffe besonders massig. Dem Fundament blieben zwar die vertikalen Kräfte erspart, aber die tangentialen Kräfte aus dem Abbremsen der Schwungkugeln verdrehten das Gestell und wirkten weiter ins Fundament. Auch dieses musste deshalb sehr massiv ausgeführt werden.

Im Aufbau (**siehe auch Abb. 6**) ähnelten die Stoßwerke den leichteren Durchstößen. Im oberen Querstück saß wieder eine bronzene Mutter, in der sich die Schraubspindel mit Schwengel und Schwunggewichten auf- und niederschraubte. Der im Gestell geführte Schieber mit dem oberen Prägestempel war entweder wieder durch Drehgelenk mit der Schraube verbunden, oder er berührte sie nur und wurde dann von einer Blattfeder oder einer gewichtsbelasteten Wippe gehoben. Auf dem unteren Querstück des Rahmens lag justierbar der untere Prägestempel.

Die Stoßwerke wurden von 2, 4, 6 oder gar 8 Mann⁴⁸ angetrieben, die die Kugeln durch Anschieben oder Ziehen beschleunigten. Oft gehörten zu einem Balancier mehrere Sätze von Kugeln mit unterschiedlichem Gewicht.⁴⁹ Auf diese Weise ließ sich die in der Kugelbewegung gespeicherte Schlagarbeit in breiten Grenzen variieren. Bei Bedarf konnte sie erheblich größer sein als im Hammer des Schlagwerks oder im Bär des Fallwerks, schätzungsweise zwischen 200 Nm und 800 Nm.⁵⁰ Angaben zur Schlagfrequenz, die sich über das Kugelgewicht und die Wahl des Ausschlagwinkels regulieren ließ, schwanken zwischen 10 und 60 Schlägen in der Minute.⁵¹ Der zweite Wert erscheint sehr hoch, er könnte aber durch Prellschlag erreicht worden sein, wobei das Zugseil an den Gewichten dann auch zum Abbremsen des zurückschwingenden Hebelarms benutzt worden wäre.

Die erreichbare Größe der Umformarbeit und ihre Dosierbarkeit waren wichtige Vorteile des Stoßwerks. Dazu kam, dass es sich unschwer auch zum Ausschneiden,

⁴⁸ FRÉMONT 1916, S. 21 zitiert aus JARS, *Voyages metallurgique* über dessen Besuch in der Kremnitzer Münze im Jahre 1758, dass dort 11 Doppelgulden in der Minute geprägt wurden mit zwei Gruppen von je 8 Mann im viertelstündigen Wechsel.

⁴⁹ FLÖRKE 1805, S. 944: Austausch der Kugeln gegen schwerere; JACOBI 1982, S. 167: Für den Balancier in Middelburg werden 1671 zwei Sätze Kugeln geliefert.

⁵⁰ Der Antrieb der Balanciers ist ein Kapitel für sich, die bildlichen Darstellungen verweisen auf ganz verschiedene Möglichkeiten: mit 2, 4, 6 oder 8 Arbeitern anschieben oder an Gurten ziehen, mit großem oder kleinem Ausschlag, mit oder ohne Prolleffekt. Entscheidend dürfte gewesen sein, wie gut das Team untereinander und auf die Maschine eingespielt war. Wenn 4 Mann auf einer Weglänge von ca. 1 m mit je etwa 200 Nm am Ende des Schwengels ziehen oder schieben, kommen sie auf ca. 800 Nm. Solche Werte waren für den normalen Prägebetrieb zu hoch, aber für Medaillen und für das Einsenken von Stempeln sicher interessant.

⁵¹ FRÉMONT 1916, S. 21, zitiert neben JARS mit 11 Prägungen (vgl. Fußnote 48) auch HACHETTE mit der Angabe von 60 Prägungen pro Minute (s. a. HACHETTE 1811, S. 262).

zum Einsenken von Stempeln und für die Ringprägung verwenden ließ. Letztere ist vereinzelt schon im 16. und 17. Jahrhundert angewandt worden, in größerem Umfang aber erst im späten 18. Jahrhundert. Dabei wurden Ober- und Unterstempel ineinander geführt und durch einen stählernen Ring für die Randprägung ergänzt. Es gab zwei Varianten (Abb. 11).

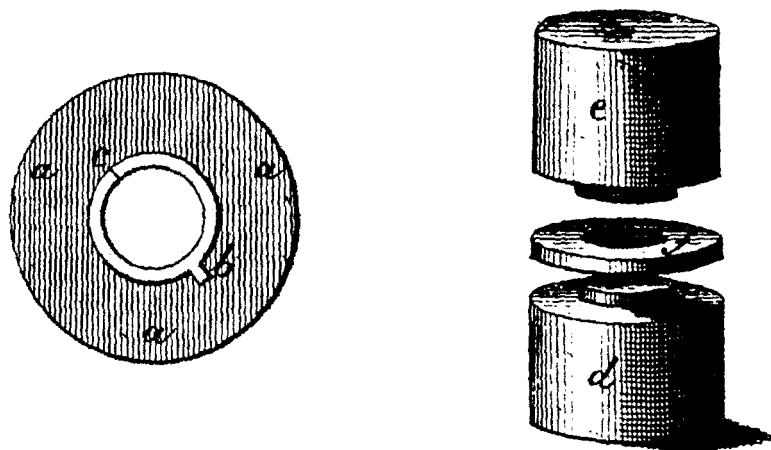


Abb. 11: Werkzeuge für Ringprägung. Links ein Außenring mit gespaltenem Prägering, Ende 18. Jahrhundert, rechts Stempelpaar mit geschlossenem Prägering. FLÖRKE 1805, Tafel 18, Abb. 5899 d und c, zu S. 957.

Bei der Ersten saß ein gespaltenener, federnder Prägering⁵² oder einer aus mehreren Segmenten⁵³ in einem geschlossenen Außenring und erzeugte eine erhabene Randschrift. Nach dem Prägen drückte man Münze und Innenring aus dem äußeren Ring heraus, der innere öffnete sich und gab die Münze frei. Dünne federnde Ringe waren sicher schwierig herzustellen und dabei bruchgefährdet. Die Entnahme der fertigen Münze und das Einsetzen einer neuen Platte brauchten Zeit. Das Verfahren kam nur bei repräsentativen Münzen und Medaillen in Frage, also bei sehr kleinen Stückzahlen.

Mit einem glatten, geschlossenen Prägering erzeugte man einen glatten Rand.⁵⁴ Wenn zuvor auf einer Rändelmaschine (siehe unten) Randschriften oder Muster vertieft eingeprägt worden waren, blieben sie weiterhin gut sichtbar. Das

⁵² FLÖRKE 1805, S. 957 und Tafel 18, Abb. 5899 d; ANSELL 1871, S. 62 f.: Rekonstruktion des Werkzeugs zu Simons Petition Crown für Charles II. von 1662/1663.

⁵³ FRÉMONT 1916, S. 18 f., belegt, dass schon 1555 im Zuge der Pariser Münzreform Prägungen im Segmentring ausgeführt wurden.

⁵⁴ FLÖRKE 1805, S. 957 und Tafel 18, Abb. 5899 c; ANSELL 1871, S. 80.

Austreiben der Münze war weniger mühsam. Das Verfahren verbreitete sich im 18. Jahrhundert für größere Münzen und bildete um 1790 den Ausgangspunkt für die industrielle Randprägung (siehe unten).

Schließlich hat man Stoßwerke schon im 17. Jahrhundert zum Einsenken benutzt, d. h. zum Prägen von Prägestempeln, was deren Reproduktion erleichterte und der Vereinheitlichung der Münzgestalt diente.⁵⁵ In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, als neue Münzprägemaschinen entstanden waren, sollte das die wichtigste Anwendung des Stoßwerkes im Münzwesen werden und der Ausgangspunkt für seine Weiterentwicklung zur Friktionsspindelpresse, die überall in der Metall verarbeitenden Industrie genutzt wurde (siehe unten).

Streckwalzwerke

Die bisher betrachteten Münzmaschinen arbeiteten schlagend oder pressend. Wie oben schon erwähnt, kamen aber auch Maschinen zum Walzen, Ziehen und Rollen zur Anwendung. Vor allem beim Strecken der Zaine hat sich das Walzwerk einen festen Platz erobert. Bekannt war es schon vor 1500, es ist zuerst zum Walzen von dünnen Blechen und von Bleiprofilen für Fensterverglasung verwendet worden.⁵⁶ Um 1530 ist die Anwendung beim Strecken von Zainen bildlich belegt.⁵⁷ Das Walzwerk bestand im Wesentlichen aus einem Paar zylindrischer Walzen mit gehärteter, polierter Stahloberfläche (**Abb. 12**). Die Walzen lagerten so in einem Gestell, dass die Höhe des Spaltes zwischen ihnen mit Schrauben eingestellt werden konnte, je nach der Dicke des zu walzenden Zains. Meist waren die Drehbewegungen der beiden Walzen durch Zahnräder gekoppelt (**Abb. 13**). Der Antrieb erfolgte über Handkurbel, Pferdegöpel oder Wasserrad. Für den Handbetrieb dürften ein oder zwei Mann erforderlich gewesen sein.

Da die umformende Energie nicht schlagartig, sondern langsam und kontinuierlich auf das Werkstück einwirkte, war das Arbeiten leicht, Kraft und Umformenergie ließen sich gut dosieren. Daneben gab es aber eine ganze Reihe gravierender Nachteile. Vor allem hat man die Gestelle oft zu schwach gebaut, als dass sie der auseinander treibenden Keilwirkung des eingezogenen Zains hinreichend hätten widerstehen können.⁵⁸ Walzen und Gestell federten auseinander, sodass es schwierig war, den Walzenabstand genau einzustellen. Außerdem führte der Härteverzug der Walzen zu unregelmäßiger Zaindicke (siehe unten).

⁵⁵ GASPAR 1993.

⁵⁶ FELDHAUS 1914, S. 1276 ff.: Walzwerke um 1495 bei LEONARDO für Zinn, Gold, Fensterblei.

⁵⁷ SELLWOOD 1993.

⁵⁸ FLÖRKE 1805, S. 857 f.

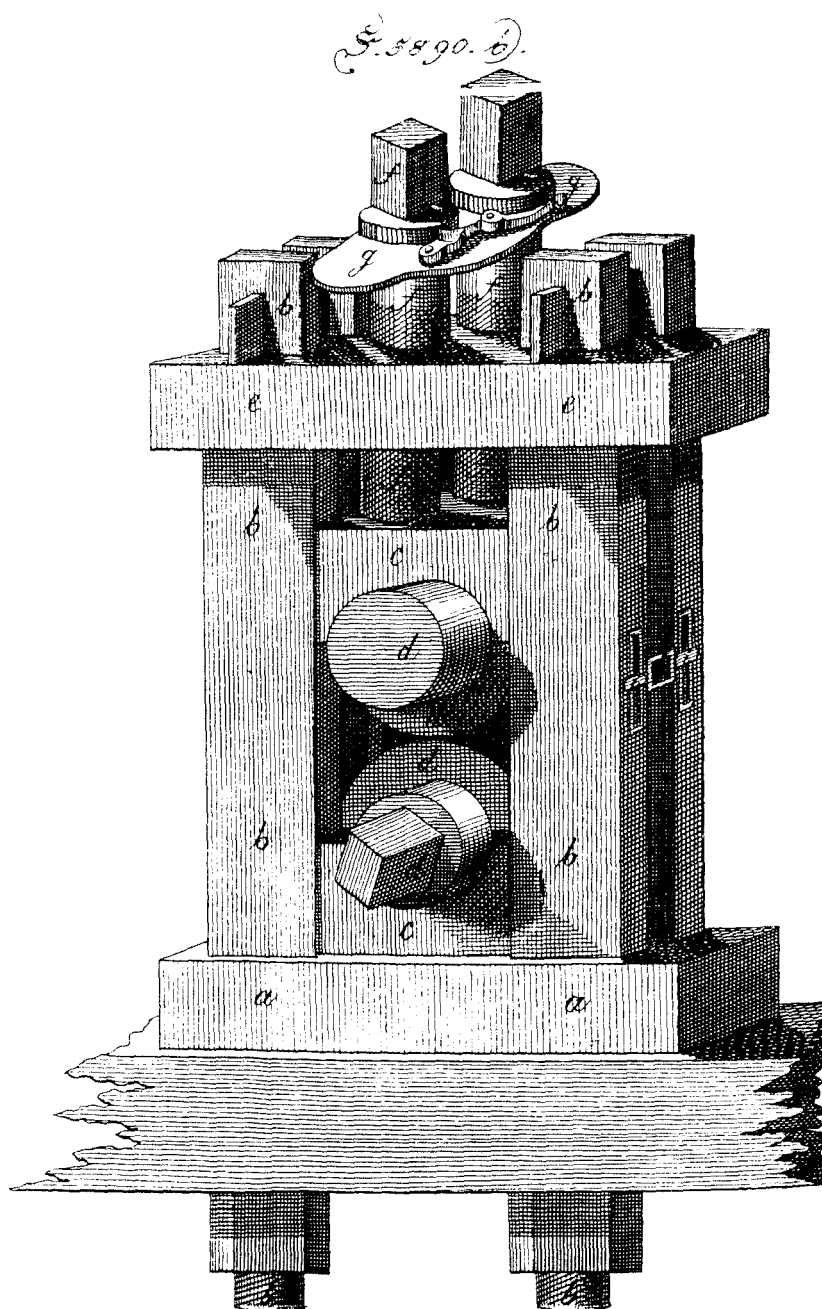


Abb. 12: Walzwerk, Ende des 18. Jahrhunderts. FLÖRKE 1805, Tafel 10, Abb. 5890 b zu S. 841.



Abb. 13: Walzwerke in einer Werkstatt zur Herstellung von Rechenpfennigen, um 1690. An der Vorderkante des Tisches ein Prägewalzwerk, deutlich zu erkennen an den elliptischen Gravierungen auf den Walzen, mit zahnradgekoppelten Walzen; wie man sieht, werden einzelne Platten eingelegt. Hinten rechts wird gerade ein Zain in eine Maschine eingeführt, bei der es sich entweder um ein Streckwalzwerk handelt oder um einen zahnstangegetriebenen Durchstoß. WEIGEL 1698, gegenüber S. 322.

Prägewalzwerke

Sogar beim Prägen ist das Walzwerk lange Zeit eine gleichwertige Alternative zum Stoßwerk gewesen. Dieses Verfahren wurde um 1550 in einer illustrierten Denkschrift des Grafen Reinhard von Solms (1491–1562) propagiert, der dazu auch Versuche unternahm.⁵⁹ Etwa zur gleichen Zeit hat sich eine Gruppe von schweizerischen Erfindern mit wechselndem Erfolg um die Einführung dieser neuen Technik bemüht. Mit ihrer Beteiligung gelang es 1566/1567, das Walzprägen in Innsbruck und dann in Hall in Tirol dauerhaft zu implantieren. Von dort wurde es an viele europäische Münzstätten weitergegeben.⁶⁰ Die Prägewalzwerke glichen im Aufbau denen zum Strecken, nur dass die beiden Walzen auf ihren Umfang mit mehreren eingravierten Münzbildern versehen waren (**Abb. 13**).

Zu den Vorteilen gehörte eine gute Ausformung des Münzbildes.⁶¹ Die Prägewalzen haben erheblich länger gehalten als Stempel, weil sie nicht schlagartig beansprucht wurden⁶²; außerdem ging die Arbeit viel schneller (60 Prägungen in der Minute dürften ohne weiteres erreichbar gewesen sein). Selbst bei großen Münzen kam man mit viel weniger Personal aus als am Stoßwerk. Andererseits war vor allem bei Pferde- oder Wasserkraftantrieb der maschinenbauliche Aufwand, auch wenn er unter dem für das Stoßwerk blieb, erheblich größer als bei Schlag- und Fallwerken. Und die Münzen wiesen eine Reihe charakteristischer Mängel auf, vor allem Welligkeit vom Walzen und einen deformierten Randbereich, wenn sie nach dem Prägen nicht mit Locheisen, sondern mit Stempel und Matriz aus geschnitten wurden (siehe unten im Anhang).⁶³

Werkzeugprobleme mit Walzen

Am schwerwiegendsten aber müssen die Probleme mit der Herstellung und Instandhaltung der Walzen gewesen sein. Diese bestanden im Kern aus Schmiedeeisen, mit einem auf der Mantelfläche aufgeschmiedeten Stahlbelag. Man feilte die Wellenden vierkantig für Kurbeln und Zahnräder, drehte die Lagerflächen und den Walzenkörper möglichst genau zylindrisch und polierte die Walzflächen. Beim

⁵⁹ MARX 1928; UHLHORN 1935; BAMBERG 1935.

⁶⁰ BECKMANN 1802, S. 643 ff.; WALTHER 1939, S. 152 f.; MOSER/TURSKY 1977, S. 314 ff. und S. 324 ff.; COOPER 1988, S. 46 f. und S. 61 ff.

⁶¹ BESLY 1993, S. 119.

⁶² MOSER/TURSKY 1977, S. 128, sprechen von 50.000–100.000 Mark Silber pro Walzenpaar; das bedeutet die ca. zehnfache Anzahl Taler, wovon jede der 4 Gravierungen dann 120.000–250.000 Stück prägte. VON SCHRÖTTER 1904, S. 15 zitiert aus einer Quelle des 17. Jahrhunderts, dass zehnmal weniger Stempel verbraucht würden.

⁶³ BESLY 1993, S. 119; SELLWOOD 1993, S. 112.

anschließenden Härten verzogen sich jedoch die Walzenkörper um einige zehntel Millimeter. Damals gab es noch kein Mittel, um diese Formfehler am harten Stahl zu korrigieren. Abschließend wurde zwar noch einmal poliert, dabei konnte aber nur die vom Glühen stammende Zunderschicht abgetragen und die Fläche geglättet werden.⁶⁴ Die Abweichungen aus Gestelldeformationen, Härteverzug und Lagerfehlern führten dazu, dass die Dicke der gewalzten Zaine und damit Gewicht und Edelmetallgehalt der Münzen bis 20 % voneinander abweichen konnten.⁶⁵ Nur durch sehr sorgfältiges Härten und durch Paarung von Walzen mit sehr geringen Fehlern⁶⁶ ließ sich das reduzieren.

Noch größer waren die Schwierigkeiten und die Anforderungen an den Werkzeugmacher bei Prägewalzen. Weil maschinelles Einsenken größerer Partien auf den zylindrischen Walzenflächen nicht möglich war, musste jede Gravur von Hand gearbeitet werden, mit Sticheln und Punzen. Sie wurde als Ellipse quer zur Walzrichtung ausgeführt, um ungefähr kreisrunde Prägungen zu erhalten, denn das Walzen streckte die Zaine und das Münzbild. Auf der Gegenwalze musste die Lage der Gravuren exakt passen, damit an den Münzen kein Bildversatz auftrat. Der Bruch einer Walze bedeutete jedes Mal die Unbrauchbarkeit aller auf ihr angeordneten Gravuren, auch der nicht beschädigten.

Trotz dieser Probleme hat sich das Prägewalzwerk bis ins 18. Jahrhundert behaupten können. Dann wurde es fast überall vom Stoßwerk verdrängt. Als Maschinen zum Strecken der Zaine aber blieben Walzwerke in Gebrauch. Wegen der beschriebenen Schwankungen der Walzdicke wurden sie allerdings meist durch eine Ziehbank ergänzt, auf der vor dem Ausschneiden der Platten die endgültige Kalibrierung der Zaine erfolgte (siehe unten).

⁶⁴ Für spanabhebende Bearbeitung braucht man immer einen Schneidstoff, der härter als der Werkstoff ist. Ein stählernes Werkstück lässt sich deshalb mit gehärtetem Stahlwerkzeug nur bearbeiten, wenn es weich geglättet ist; im harten Zustand braucht man keramische Schneidstoffe (z. B. Quarzsand, Korund, Diamant). Bis ins 19. Jahrhundert standen die aber nur für ungenaue Bearbeitung von Hand zu Verfügung (Schleifstein, Schmirgelholz). Für die exakte Korrektur des Härteverzugs benötigt man dagegen Schleifmaschinen, wie sie allgemein erst nach 1850 entwickelt wurden (siehe dazu BENAD-WAGENHOFF 1991; BENAD-WAGENHOFF 2000, S. 19 und 22). VON SCHRÖTTER 1926, S. 226, erwähnt, dass für die Berliner Münze schon 1816 eine Walzenschleifmaschine angefertigt werden sollte, das zeigt die Dringlichkeit des Problems.

⁶⁵ SELLWOOD 1993, S. 109, siehe dort Überschlagsrechnung.

⁶⁶ FLÖRKE 1805, S. 854.

Taschenwerke

Neben dem Walzwerk hat man zum Prägen auch eine einfachere Walzmaschine benutzt, das so genannte Taschenwerk (**Abb. 14**). Es dürfte im späten 16. Jahrhundert aufgekommen sein. 1617 ist es in Paris nachweisbar⁶⁷, und aus dem Inventar der Frankfurter Münze von 1618–1621 ist ebenso wie an dort geprägten Talerstücken ersichtlich, dass Taschenwerke benutzt wurden.⁶⁸ 1639 sind sie im schottischen Edinburgh⁶⁹ belegt. Im Aufbau ähnelte das Taschenwerk dem Walzwerk. Anstelle eines Paares kompletter Walzen besaß es jedoch nur zwei über Zahnräder gekoppelte Achsen mit quer liegenden Durchbrüchen, in denen zwei pilzförmige Walzensegmente mit Prägegravur steckten. Sie wurden normalerweise nicht durchlaufend, sondern oszillierend bewegt. Zum Betrieb reichte unter Umständen ein Mann aus, der den Antriebshebel betätigte und mit der freien Hand den Zain oder die Platte einführte. Wenn man Zaine walzte, empfahlen sich Stempel, deren Walzensegment nicht viel länger war als die Gravur, weil sonst die Abstände der Münzprägungen zu groß gemacht werden mussten und zu viel Abfall entstand. Wenn Platten gewalzt wurden, mussten diese wegen der Längsstreckung elliptisch ausgeschnitten sein. Eine Einlegehilfe, um die Platten exakt zu positionieren, scheint nicht üblich gewesen zu sein. Mit der Umformarbeit verhielt es sich wie beim Walzwerk: Sie wurde mit kleiner Kraft kontinuierlich eingebracht.

Der große Vorteil gegenüber dem Prägewalzwerk lag im viel einfacheren Aufbau der Werkzeuge. Wie die Stempel beim Hammerprägen und im Stoßwerk waren es einzelne Stücke, die einzeln ersetzt werden konnten. Nur die Gravur war auf der gewölbten Fläche etwas schwieriger auszuführen. Härteverzug ließ sich beim Einsetzen in die Wellen durch Korrekturen an den Befestigungszapfen zum Teil ausgleichen. Als Nachteile blieben die gewellte Form der Münzen und die Unmöglichkeit der Randprägung, beim Prägen auf Zainen auch die Bildranddeformationen durch das nachträgliche Ausschneiden.

Das Taschenwerk war eine Walzmaschine für Betriebe, die über normale Werkzeugmacherqualifikationen verfügten, aber nicht über die hochspezialisierten zum Herstellen graviert Walzen. Es eignete sich sehr gut auch für den kleinen Münzbetrieb, und weil es leise, ohne laute Hammerschläge und erschütternde Stöße arbeitete, soll es bei Fälschern, die die Entdeckung ihres Tuns fürchten mussten, sehr beliebt gewesen sein.⁷⁰

⁶⁷ Als man 1617 in Paris einen experimentellen Vergleich der alten Hammerprägung mit den von Nicolas Briot propagierten maschinellen Verfahren anstellte, wurde u. a. ein Taschenwerk beschrieben und darauf verwiesen, dass diese Maschinen in Deutschland schon länger für die Herstellung von Rechenpfennigen benutzt würden, vgl. SELLWOOD 1986, S. 113.

⁶⁸ Diesen Hinweis verdanke ich Konrad Schneider.

⁶⁹ BESLY 1993, S. 120 f.; BECKMANN 1802, S. 647.

⁷⁰ VON SCHRÖTTER 1904, S. 15; LUSCHIN VON EBENGREUTH 1926, S. 85.



Abb. 14: Durchstoß und Taschenwerk als Produkte in einer Windenmacherwerkstatt, um 1690. Das fertig montierte Taschenwerk steht links, an eine Bank gelehnt, auf dem Boden. WEIGEL 1698, gegenüber S. 354.

Ziehbänke

Beim Ziehen verringert man den Querschnitt von Drähten und Profilstangen, indem man sie durch eine enge Öffnung zieht. Für runde Drähte wurde das seit dem Altertum praktiziert. Bänke zum Ziehen von Zainen sind schon Anfang des 15. Jahrhunderts⁷¹ verwendet worden, sie finden sich bei Leonardo da Vinci⁷² (1452–1519) und auf dem erwähnten venezianischen Holzschnitt von 1530.⁷³ In der Regel wurden sie zum Feinkalibrieren verwendet, als Korrektiv für die ungenauen Streckwalzwerke. Zentrales Element der Ziehbank (Abb. 15) war der Durchlass, eine Haltevorrichtung mit einem Paar gehärteter und polierter stählerner Backen, zwischen denen der angespitzte Zain eingefädelt und durchgezogen wurde. Mit einem Schraubmechanismus konnte die Spaltbreite eingestellt werden. Das Durchziehen bewerkstelligte man mit einem kraftsteigernden Übersetzungsmechanismus: Eine

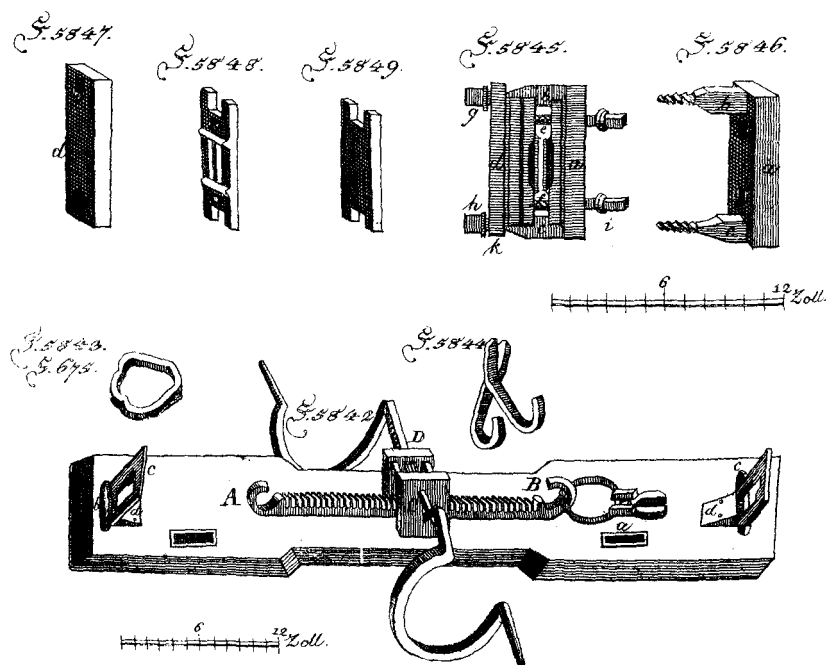


Abb. 15: Ziehbank mit zwei Durchlässen, Mitte des 18. Jahrhunderts. Oben die Backen und ihr Gehäuse; unten die Ziehbank in Draufsicht, mit den beiden Halterungen (c) für die Backenpaare an den Enden, in der Mitte die kurbelgetriebene Zahnstange (A-B), an deren Enden die Zange mit dem Zugring eingehängt wird. FLÖRKE 1805, Tafel 5, Abb. 5842–5849 zu S. 675, nach CALVÖR 1763.

71 WALTHER 1939, S. 146 f.

72 FELDHAUS 1914, S. 1362 f.

73 SELLWOOD 1993.

unter Zug selbsttätig zupackende Zange wurde am Zainende angesetzt; sie hing an einer auf der Bank geführten Zahnstange, die über Handkurbeln und ein Ritzel bewegt wurde. Für den Betrieb waren ein bis zwei Arbeiter erforderlich. Da sich die Backen, anders als Walzen, nicht bewegten, mussten sie sehr gut geschmiert werden, damit der Zain leicht hindurchglitt. Die Umformarbeit wurde auch hier kontinuierlich über eine schmale, wandernde Druckfläche aufs Werksstück gebracht.

Die Vorteile lagen vor allem im einfachen und starren Aufbau des Werkzeugs. Härteverzug hatte bei den feststehenden geraden Backen wesentlich geringere Auswirkungen als bei drehenden Walzen und ließ sich, anders als bei diesen, einfach am Schleifbock und am Abziehstein korrigieren. Man konnte mit hoher Genauigkeit eine gleichmäßige Dicke der Zaine erzielen – Voraussetzung für ein exaktes Gewicht der prägefertigen Platten, die anschließend ausgestanzt wurden. Ein gewisser Nachteil dürfte im erhöhten Kraftbedarf gegenüber dem Walzen gelegen haben. Außerdem ließen sich auf den vorindustriellen Ziehbanken nur relativ kurze Zainstücke durchziehen, sodass ggf. abgelängt werden musste, bevor weiter gearbeitet werden konnte. Die Ausbringung war wahrscheinlich geringer als auf dem Walzwerk.

Rändelmaschinen

Auf Rändelmaschinen (**Abb. 16**) versieht man den Rand der Platten oder der fertigen Münzen mit einem Muster, indem man die Scheibe unter Druck zwischen zwei geraden oder gebogenen, mit Buchstaben- oder Mustergravur versehenen Stahlstangen hindurchrollt. Man kann aber auch eine bloße Stauchung der Randzone erzeugen, die dort Material konzentriert und so beim Prägen im Ring den Aufbau eines markanten Münzrandes erleichtert. Dieses rollende Verfahren war um die Mitte des 17. Jahrhunderts bekannt. 1662 soll es in London⁷⁴ praktiziert worden sein, 1671 nutzte man es in den Niederlanden⁷⁵, 1685 in Frankreich.⁷⁶ Seitdem hat es immer weitere Verbreitung gefunden und ist dann in der Industrialisierung zum Standard geworden. Die Rändelmaschine bestand in ihrer vorindustriellen Form meist aus zwei Prägelinealen, die auf den Rolldurchmesser der Münzplatten eingestellt und über Zahnrad und Zahnstange gegeneinander bewegt wurden. Die Weglänge war dabei so bemessen, dass die Münze mit einer 180°-Drehung die Rollstrecke durchlief und dann in einen Sammelbehälter fiel. Für den Betrieb reichte normalerweise ein Mann aus. Die Umformarbeit war relativ gering und wurde wie bei den Walzverfahren kontinuierlich eingebracht.

⁷⁴ GASPARD 1993, S. 137.

⁷⁵ JACOBI 1982, S. 164 ff.

⁷⁶ BECKMANN 1802, S. 641; FLÖRKE 1805, S. 906 f.; KARMARSCHE 1872, S. 452; COOPER 1988, S. 102.

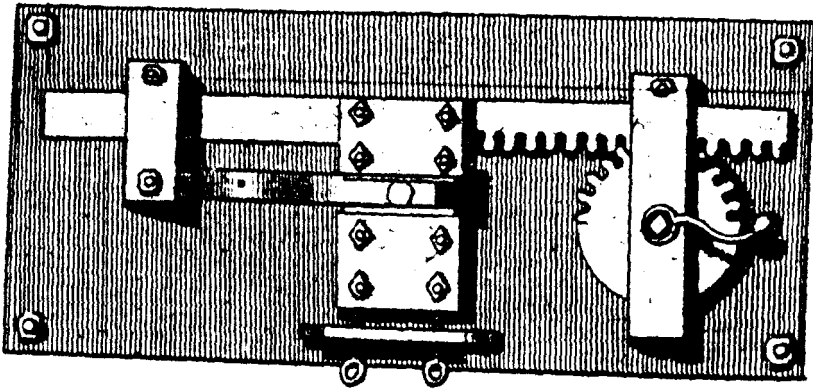


Abb. 16: Rändelmaschine, Ende des 18. Jahrhunderts, Draufsicht. Rechts der Antrieb, in der Mitte die Platte zwischen den beiden Prägeleisten. FLÖRKE 1805, Tafel 14, Abb. 5894 zu S. 893

Die Vorteile lagen im einfachen Aufbau der Maschine und der Werkzeuge, bei denen ein Härteverzug geringe Auswirkungen hatte und leicht korrigiert werden konnte. Allerdings muss es an der Kante zwischen den Bildflächen und dem gemusterten Rand Überlagerungen aus den beiden Prägevorgängen gegeben haben (Kantenstörung, siehe unten im Anhang). Bei abschließender Ringprägung wurde das vermieden, der vom Rändeln gestauchte Bereich war dann Voraussetzung für einen gut ausgebildeten Münzrand.

Konkurrierende Herstellungsverfahren und die Durchsetzung des Balanciers

Für das 17. und 18. Jahrhundert lassen sich nun grob fünf verschiedene Herstellungsverfahren identifizieren (Abb. 17); das sind typische Kombinationen, in denen die beschriebenen Geräte und Maschinen der Formgebung zum Einsatz kamen. Die mit dem Stoßwerk Arbeitenden haben sich erst im 18. Jahrhundert allgemein durchgesetzt. Warum das so war, wird deutlich, wenn man die Herstellungsverfahren in Bezug auf Produktivität und erreichte Präzision der Münzgestalt vergleicht (siehe auch Abb. 18 und im Anhang).

Bei der überkommenen Hammerprägung ergab das Stückeln (2) der mit dem Hammer gestreckten Zaine (1) unregelmäßige, eckige Platten, die sofort justiert (3) und ohne weitere Veränderung ihres Gewichts aufwändig rund und flach geschlagen wurden (4). Das abschließende Prägen (5) bezog den Rand nicht mit ein. Die Hammerprägung war sozusagen die handarbeitliche Variante der offenen Stoßprägung. Sorgfältig geprägte Münzen wiesen in guter Näherung eine kreisrunde Kontur auf und waren plan. Als Spuren des Herstellungsprozesses blieben, neben einer gewissen Streubreite der Durchmesser und Dicken und dem Versatz von Platte und Präge-

	Hammer- prägung	Walzprägung auf Zain	Walzprägung auf Platte	Stoßprägung offen	Stoßprägung im Ring
Strecken	1 Hammer, Amboss	1 Streck- walzwerk	1 Streck- walzwerk	1 Streck- walzwerk	1 Streck- walzwerk
Schneiden	2 Schere	5 Durchstoß	2 Durchstoß	2 Durchstoß	2 Durchstoß
Justieren	3 Schere, Feile	2 Feile ?, Feinwalz- werk ?	4 Feile	4 Feile	4 Feile
Schlagen	4 Hammer/ Amboss	4 evt. Holzwalzen	3 evt. Fallwerk	3 evt. Fallwerk	3 evt. Fallwerk
Prägen	5 Hammer/ Stempel	3 Präge- walzwerk , Taschen- werk	5 Taschen- werk	5a evt. Rändelwerk 5b Schlagwerk, Fallwerk, Stoßwerk	5a evt. Rändelwerk 5b Fallwerk, Stoßwerk

Abb. 17: Herstellungswesen im Vergleich. Tabelle des Verfassers.

bildern, vor allem die Randfacetten vom Rund- und Flachschiagen der Platten und die vom rechten Winkel abweichende Bildverdrehung vom Prägen. Auch sektorale und flächige Doppelpprägungen und kleinere Ausquetschungen am Rand konnten vorkommen. Die Produktivität war niedrig, die Prägefrequenz dürfte bei ca. 10 Stück pro Minute gelegen haben.⁷⁷ Dafür war aber der gerätetechnische Aufwand gering.

Die 1566/1567 in Tirol eingeführte Walzprägung auf Zain war wahrscheinlich die erste maschinelle Herstellungsweise, die man in größerem Umfang anwandte.⁷⁸ Der Zain durchlief nach dem Streckwalzwerk (1) eventuell ein Feinwalzwerk oder eine Ziehbank, die den Justiervorgang ersetzen sollten (2)⁷⁹, denn nachträgliches Justieren mit der Feile war, wenn man das Münzbild nicht beschädigen wollte, nur am Rand möglich.⁸⁰ Dann wurde im Prägewalzwerk, in kleineren Werkstätten sicher auch im Taschenwerk geprägt (3). Gelegentlich hat man die Zaine zwischen

⁷⁷ Aus Zahlen, die Hubert Emmerig für Straubing 1459/1460 ermittelt hat (mündliche Mitteilung), lassen sich Prägefrequenzen zwischen 5 und 10 Münzen pro Minute schätzen.

⁷⁸ Die Pariser Münzreform von 1552 hat zwar früher stattgefunden, aber hinsichtlich der angewandten Maschinen und Verfahren besteht keine ausreichende Klarheit, und schon nach ca. 20 Jahren wurde die maschinelle Herstellung in Paris wieder aufgegeben; siehe dazu FREMONT 1916, S. 16 ff.; WIDDEL 1960, S. 125 ff. und CASPAR 1974.

⁷⁹ Inwieweit das gelang, müsste anhand von Schriftquellen und Münzen genauer überprüft werden. Ungenau eingestellte Prägewalzen dürften den Kalibriereffekt in beiden Fällen zunichte gemacht haben.

⁸⁰ LUSCHIN VON EBENGREUTH 1926, S. 86, erwähnt Feilstriche am Rand; VON SCHRÖTTER 1904, S. 14, zitiert aus der oben genannten Quelle des 17. Jahrhunderts, dass solche Münzen nicht stückweise, sondern in der Mark justiert worden seien.

Hartholzwalzen planiert oder zwischen Bleiplatten gehämmert (4).⁸¹ Zuletzt schnitt man die Münzen mit dem Durchstoß aus (5). Deswegen wurde sie kreisrund, blieben aber wellig vom Prägen und deshalb ungerändert. Ellipsenformen aus der Streckung beim Walzen, mit Abmagerungen durch Gravierfehler, kamen ebenso vor wie Bildranddeformation vom Ausschneiden. Die Münzgestalt war insgesamt kaum schlechter als bei der Hammerprägung, die Produktivität lag jedoch zwei bis drei Mal höher.⁸² Aber auch der Aufwand für Maschinerie und Werkzeuge war, vor allem beim Prägewalzwerk, erheblich größer.

Bei der wahrscheinlich um 1600 aufgekommenen Walzprägung auf Platte wurden aus den im Walzwerk gestreckten Zainen (1) am Durchstoß elliptische Platten geschnitten (2), die man wenn nötig auf dem Fallwerk plan schlug (3) und mit der Feile justierte (4). Die Gewichtsabweichungen ließen sich hier also problemlos korrigieren. Geprägt wurde im Taschenwerk (5), wo die einzelnen Platten offen zwischen den Stempel durchliefen, nur im Idealfall eine kreisrunde Kontur erhielten und stark wellig wurden. Deswegen konnte weder vor noch nach dem Prägen gerändert werden. Zudem kamen Überschneidungen vor. Charakteristische Merkmale waren außerdem wieder Ellipsenformen und Abmagerungen sowie starke Auswülbungen der Kontur, die aus Dickenabweichungen herrührten. Dadurch konnte die Münzgestalt sehr viel unregelmäßiger werden als bei Hammerprägung und bei Walzprägung auf Zain (**Abb. 18**). Die erreichbare Produktivität lag vielleicht nicht ganz so hoch wie beim Prägewalzwerk, der maschinen- und werkzeugtechnische Aufwand war aber deutlich geringer.

Die offene Stoßprägung ist seit Anfang des 17. Jahrhunderts sicher nachweisbar. Nach dem Strecken der Zaine im Walzwerk und eventuellem Kalibrieren auf der Ziehbank (1) wurden mit dem Durchstoß kreisrunde Platten ausgeschnitten (2). Nur wenn sie dabei stärker gebogen worden waren, schlug man sie auf einem Fallwerk flach (3). Dann wurde mit der Feile justiert (4). Seit Mitte des 17. Jahrhunderts hat man immer öfter gerändert (5a), bevor zwischen Ober- und Unterstempel, ohne Einschluss des Randes durch die Werkzeuge, die Prägung der Flächen erfolgte: gelegentlich auf dem Schlagwerk oder auf dem Fallwerk, in der Regel aber auf dem Stoßwerk (5b). Die Münzen wurden plan. Wie immer bei offener Prägung ergaben sich kleinere Ausquetschungen und Durchmesserabweichungen. Überschneidungen kamen vor. Der Versatz der Platte konnte deutlich ausfallen, aber der der Bilder blieb gering. Bildverdrehung konnte es nur in 90°-Sprüngen geben. Auch flächige Doppelpprägungen waren möglich. Die Produktivität schwankte

⁸¹ VON SCHRÖTTER 1904, S. 13, erwähnt Holzwalzen, LUSCHIN VON EBENGREUTH 1926, S. 86, das Abhämmern zwischen Bleiblechen.

⁸² VON SCHRÖTTER 1904, S. 15 zitiert aus der oben genannten Quelle des 17. Jahrhunderts, dass in derselben Zeit statt 4.000 Talern 10.000 geprägt werden könnten.

in weiten Grenzen, die Prägefrequenz lag zwischen 10 und 60 Schlägen pro Minute. Der maschinentechnische Aufwand war vor allem bei großen Stoßwerken hoch.



Abb. 18: Hessen-Darmstädtische Taler aus der Münzstätte Nidda; das Stück von 1623 (oben) ist auf dem Taschenwerk geprägt, mit welligem Profil, deutlicher Abmagerung des inneren Kreises und starker Auswulzung unten links. Die Unregelmäßigkeit des Randes unten rechts geht vielleicht auf unsauberes Ausschneiden zurück, aber auch auf einen Stempelausbruch, der auf der Wappenseite unten links zu erkennen ist. Der Taler von 1626 ist hammergeprägt, er weist planes Profil und deutliche Randfacetten auf und kommt einer Kreiskontur erheblich näher. Fotos von Frank Berger, Historisches Museum Frankfurt a. Main, nach Vorlagen aus dem dortigen Münzkabinett.

Bei der Stoßprägung im Ring, die seit 1662 nachgewiesen ist, lag der Unterschied zur offenen Stoßprägung nur im Werkzeug selbst. Der Ring, in dem Ober- und Unterstempel gegeneinander geführt wurden, umschloss zugleich den Rand der

Platte als Formwerkzeug und erzeugte beim Prägen einen präzise geformten Münzrand, ggf. mit gerändelten Mustern. Bis auf geringfügige Gratbildungen in der Passfuge zwischen Stempeln und Ring und an den Trennfugen des gespaltenen Ringes war die Münzgestalt perfekt, alle Unregelmäßigkeiten vorangegangener Bearbeitungsschritte wurden überformt. Die Platten mussten allerdings genau vorgearbeitet sein, und die Produktivität war sehr niedrig, weil das Ausschlagen der Münzen aus dem Ringwerkzeug viel Zeit brauchte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass alle auf Maschinen, aber nicht im Ring geprägten Münzen typische Mängel im Erscheinungsbild aufwiesen und den handgeprägten Münzen keineswegs überlegen waren. Besonders Stücke aus dem Taschenwerk mit ihrer Welligkeit und den starken Auswülbungen an der Kontur konnten sich unvorteilhaft von guten Hammerprägungen abheben (**Abb. 18**). Das Rändeln verbesserte die Münzgestalt, brachte aber noch keine Perfektion. Nur mit der Ringprägung ließ sich diese erreichen, aber um den Preis stark verminderter Produktivität. Beide Verfahren funktionierten nur mit kreisrunden Platten und waren deshalb an den Balancier gebunden, weil nur dieser auf solche Platten prägen konnte.

Die Kombination von Rändelmaschine und Balancier breitete sich seit der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts aus. Auf dem Weg zur perfekten Münzgestalt war sie ein Zwischenschritt, der die Einbußen an Produktivität vermied, die das Prägen im Ring nach sich zog, solange das Einlegen der Platten und das Herausschlagen der Münzen von Hand erledigt werden musste. Die Ringprägung brachte aber bessere Ergebnisse. Sie wurde deshalb zum Ansatzpunkt für die Industrialisierung der Münzfertigung, die in den 1780er Jahren, mit Anregungen aus Frankreich, in England begann.

5. Die Industrialisierung der Münzherstellung

Die Industrialisierung brachte den geometrisch fast vollkommen bestimmten Münzkörper: bei gleichzeitiger Steigerung der produzierbaren Mengen auf das 10- bis 100-fache wurde die gesamte Münzoberfläche von der Prägung erfasst. Ein perfekter Rand garantierte neben dem Schutz vor Beschnitt und Verschleiß nun auch die Stapelfähigkeit, die das Hantieren und Zählen der enorm gewachsenen Münzmengen vereinfachte.

Dass diese Umwälzung in England ihren Ausgang nahm, hatte seine Gründe in der damals gerade beginnenden Industriellen Revolution und in spezifischen Bedingungen der britischen Geldpolitik während der vorangegangenen Jahrzehnte:⁸³ Der Bedarf an Kupfermünzen für die Entlohnung der wachsenden Industriearbeiter-

⁸³ DICKINSON 1937, S. 133 ff.

schaft stieg rapide an. Der Staat hatte aber lange Zeit die Emission von Kupfermünzen vernachlässigt und sich nur um die höherwertigen und damit größeren Gewinn abwerfenden Gold- und Silbermünzen gekümmert. Das begünstigte private Emissionen von kupfernen Tokens als regionalem Zahlungsmittel und ein lebhaftes Fälscherunwesen, das vor allem in Birmingham mit seinem entwickelten Blechgewerbe eine breite Basis hatte. In dieser Situation ergriff der Birminghamer Blechfabrikant Matthew Boulton (1728–1809), der als Kompagnon des Dampfmaschinenkonstruktors James Watt bekannt geworden ist, die Initiative und baute die erste industrielle Münzfertigung auf, indem er das alte, auf dem Balancier basierende technische System modernisierte.

Die Modernisierung des alten Stoßwerks: Boulton und Droz⁸⁴

Eine effektive moderne Münzfertigung hing davon ab, dass zwei zentrale Probleme gelöst werden konnten, die die Produktivität in den Prägewerkstätten begrenzten: die Zufuhr der Platten und der Antrieb. Bei der offenen Prägung am handgetriebenen Balancier konnte eine eingespielte Mannschaft recht schnell arbeiten.⁸⁵ Die Prägung im Ring aber musste modifiziert werden, damit auch hier die Platten schnell ins Werkzeug eingelegt und die fertigen Münzen ebenso schnell entnommen werden konnten. Der Bediener mit seiner begrenzten Arbeitsgeschwindigkeit durfte nicht zum Engpass bei der Plattenzufuhr werden. Das lief auf eine automatische Einlege- und Auswurfvorrichtung hinaus, mit der Konsequenz, dass das Prägewerkzeug außerordentlich kompliziert wurde. Außerdem benötigte der Balancier bei großen Münzen viel Personal. Wenn acht Arbeiter den Schwengel warfen und nach einer viertel Stunde abgelöst werden mussten, dann brauchte man neben dem Aufleger weitere sechzehn Mann für eine Maschine. Hier half nur ein Elementarkraftantrieb, der Menschenkraft sparte.

1786 hatte Boulton auf der Suche nach Lösungen für eine verbesserte Münzfertigung Kontakt zu dem in Paris arbeitenden französisch-schweizerischen Mechaniker Jean Pierre Droz (1740–1823) aufgenommen. Dieser war dabei, zwei interessante Komponenten zu entwickeln: Einen segmentierten Prägering (*virole brisée*), der sich selbsttätig mit der Stempelbewegung öffnete und schloss, und einen automatischen Zufuhrmechanismus, der die Platten aus einer Magazinröhre zum Werkzeug

⁸⁴ FLÖRKE 1805, S. 953 ff.; COINAGE 1824; MECHANICS 1825; PRECHTL 1840, S. 247 ff., Tafeln 214 f.; BULLETIN 1870; DICKINSON 1937, S. 133–162; COOPER 1988, S. 131 ff.; DOTY 1998, S. 23–73.

⁸⁵ FLÖRKE 1805, S. 954, kommentiert die Angabe, dass der Boultonsche Balancier 70–90 Schläge/min erreicht, mit der Bemerkung, das sei *allerdings viel, aber doch nicht soviel, dass ein gewöhnlich aber gut eingerichtetes Stoßwerk dagegen zu sehr zurückbliebe*; dazu passt HACHETTE 1811, S. 262, mit der Angabe von 60 Prägungen pro Minute.

schob und die fertigen Münzen von dort weg stieß (Abb. 19).⁸⁶ Boulton engagierte Droz 1787, ließ ihn nach England kommen und integrierte dessen Erfindungen in einem mehrjährigen Entwicklungsprozess in sein Fertigungssystem.⁸⁷ Er vereinfachte den segmentierten Prägering zu einem geschlossenen mit vertikaler Ausstoßung⁸⁸ und steuerte einen atmosphärischen Antrieb bei, der die Kraft der Luftsäule nutzte.⁸⁹

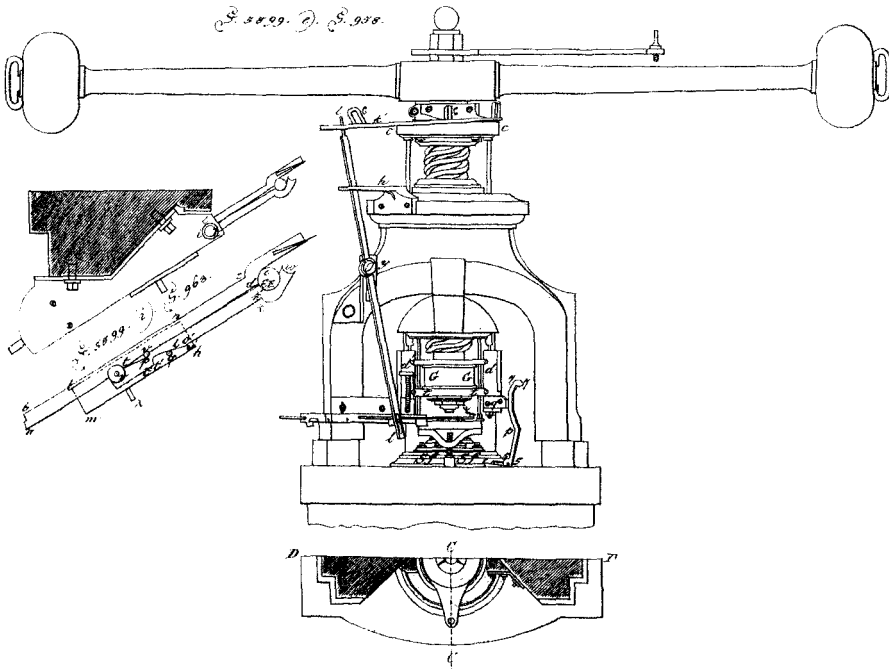


Abb. 19 a: Balancier mit Einlege- und Auswurf-einrichtung von Jean Pierre Droz, 1803. FLÖRKE 1805, Tafel 20, Abb. 5899 e zu S. 958 und i zu S. 963.

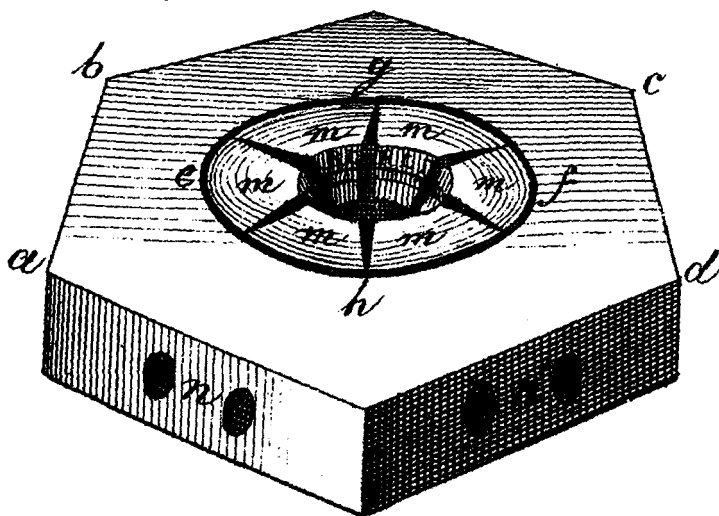
⁸⁶ Ausführliche Darstellung z. B. bei FLÖRKE 1805, S. 958 ff., Tafel 20, Abb. 5899 e–f; WALTHER 1939, S. 157 behauptet, leider ohne Beleg, der Zufuhrmechanismus sei schon 1731 in Paris entwickelt, also von Droz nur nachgebaut worden.

⁸⁷ Die Zusammenarbeit mit Droz gestaltete sich schwierig und wurde 1791 beendet. Ob man trotzdem davon ausgehen kann, dass Droz erhebliche konstruktive Beiträge zur Maschinerie von Boulton geleistet hat, muss vorerst offen bleiben. DOTY 1998, S. 26 ff., setzt jedenfalls seinen Beitrag sehr niedrig an. Das passt zu dem Hinweis von WALTHER, dass der Zufuhrmechanismus älter sei (siehe Fußnote 86). Dieser blieb jedenfalls weitgehend unverändert: an den 1811 in der Royal Mint in London installierten Boulton-Balanciers, die noch 1871 in Betrieb waren (ANSELL 1871, Tafel gg. S. 58), ist er nahezu identisch mit den bei FLÖRKE 1805, Tafel 20 veröffentlichten Darstellungen des Drozschen Prägewerks.

⁸⁸ COINAGE 1824; MECHANICS 1825.

⁸⁹ DOTY 1998, S. 52 ff.; zur genaueren Funktion siehe BULLETIN 1870.

S. 5899. h. A. S. 961.



S. 5899. h. B. S. 961.



Abb. 19 b: Segmentierter Prägering. FLÖRKE 1805, Tafel 19, Abb. 5899 h zu S. 961.

Die ersten beiden Anlagen von Boulton nahmen 1789/1790 in Birmingham den Betrieb auf. Die Balanciers waren jeweils kreisförmig angeordnet (Abb. 20), sechs kleinere fürs Ausschneiden und acht größere fürs Prägen. Sie wurden in beiden Fällen über ein großes gemeinsames Kurvenrad *aufgezogen*, das von einer Dampfmaschine bewegt wurde. Bei den Prägemaschinen wurde dieser mechanische Aufzug 1798 durch einen Atmosphärischen ersetzt, mit Zylinder-Kolben-Einheiten, die mittels einer Dampfmaschine evakuiert wurden (Abb. 21). Der Antrieb für den Pressschlag erfolgte von Anfang an atmosphärisch. Die Umformenergie konnte über

komplizierte Einstellmechanismen dosiert werden. Ihre Begrenzung scheint sie eher in der Festigkeit der Maschinenkomponenten gefunden zu haben als in der Leistungsfähigkeit des Antriebes.⁹⁰

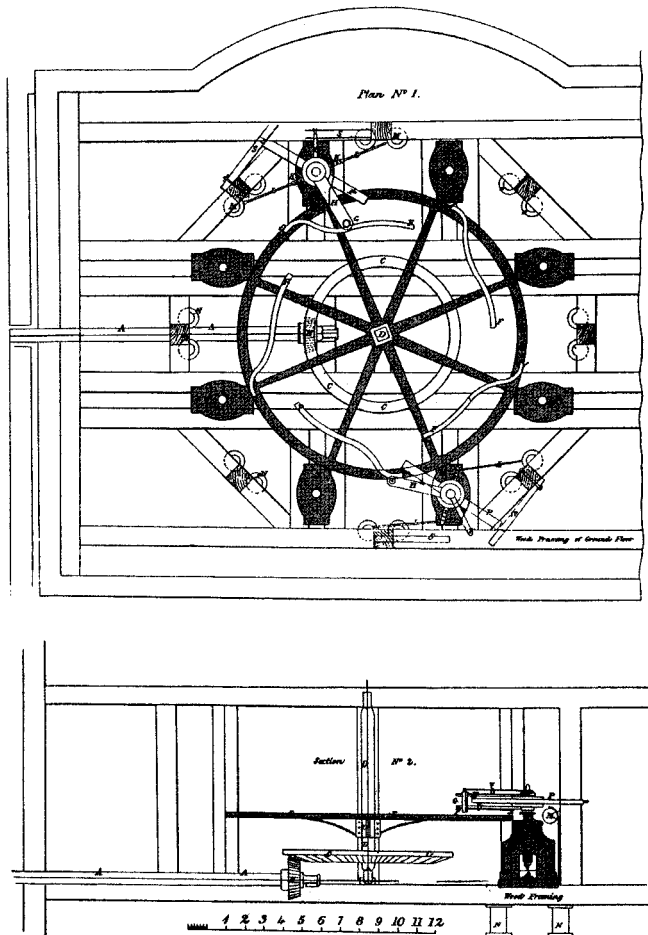


Abb. 20: Prägebalanciers von Boulton in der Soho Mint in Birmingham, mit mechanischem Aufzieh- und atmosphärischem Antriebssystem, nach dem Patent von 1790. Das große, von der im Boden liegenden Welle (A) und den Kegelrädern (B, C) bewegte Rad (E) bringt mit seinen Aufziehkurven (F) die Schwengel der Balanciers in Ausgangsposition. Je zwei Vakuum-Zylinder (N, im Grundriss auf den im Achteck angeordneten waagerechten Balken zu sehen) treiben über Hebelgestänge (L) die Schlagbewegung. DICKINSON 1937, S. 141, Abb. 5.

⁹⁰ Doty 1998, S. 47.

Boulton's Münzmaschine.

(Fig. 18.)

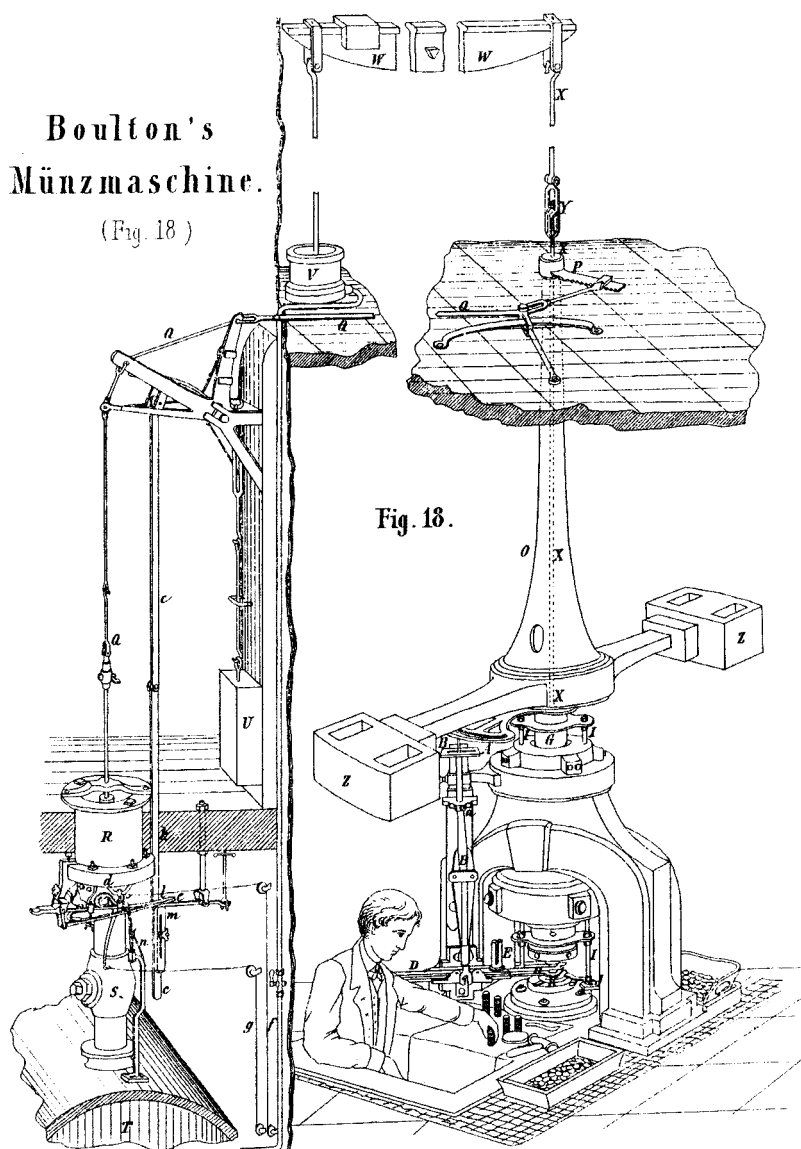


Fig. 18.

Abb. 21: Prägebalancier von Boulton in der Royal Mint in London, mit atmosphärischem Aufzieh- und Antriebssystem, um 1870. Das System war dort seit 1812, in der Soho Mint in Birmingham schon seit 1798 in Betrieb. Der Vakuumzylinder (R) treibt über das Gestänge (W-X-Y) die Schlagbewegung. Ein Zweiter (V) im Stockwerk über der Presse zieht über Gestänge (W-X-Y) die Spindel nach oben und unterstützt so ihre Rückschwingbewegung in die Ausgangsposition. Der Einlege- und Auswurfmechanismus (A-B-D-E) ist derselbe wie auf der Darstellung von 1805 auf Abb. 19, (E) ist die Magazinröhre für die Platten. BULLETIN 1870, Tafel 9, Abb. 18.

Das Verdienst Boultons und seiner Mechaniker lag in der einsatzfähigen Realisierung der Droz'schen Mechanismen, mit denen die perfekte Gestaltgebung der Münzen bei gleichzeitiger Automatisierung von Plattenzufuhr und Münzauswurf möglich wurde. Der Aufleger wurde durch einen Knaben ersetzt, der das Plattenmagazin nachfüllte. Mit dem durch Dampf und Atmosphäre bewirkten Fremdantrieb wurden außerdem je Maschine mindestens vier Arbeiter an den Riemen eingespart. Boulton hat seit Beginn der 1790er Jahre Tausende von Tonnen Münzen geprägt.⁹¹ Selbst wenn man das auf die einzelne Maschine herunterrechnet, kommt man immer noch auf Mengen, die dramatisch mehr höher liegen als beim handgetriebenen Balancier. Trotzdem war das Boultonsche System, das ja eine Modernisierung der alten Stoßwerke darstellte, keine ideale Lösung. Der österreichische Technologe KARL KARMARSCH (1803–1879), der sich gründlich mit Fragen der Münztechnik auseinandergesetzt hat, schrieb 1872 im Rückblick:

*Die Einrichtung des Stoßwerkes ist ihrer ganzen Grundlage nach auf den Betrieb durch Menschenhände berechnet. [...] Selbst in seinem vollkommensten Zustande, auf welchen es von Mechanikern des 19. Jahrhunderts schließlich erhoben worden ist, hat das Stoßwerk fühlbare Mängel: Es nimmt wegen der Kreisbewegung seines langen Schwengels einen großen Raum in Anspruch, erfordert viele Menschenhände (je nach Größe 2 bis 12 Mann) zum Betriebe, ist nicht ohne weiltäufige und kostspielige Vorkehrungen zur Bewegung durch Dampfkraft einzurichten, und erzeugt bei seinem Gange so erschütternde Stöße, dass es nicht anders als in Kellern oder sehr fest gegründeten Erdgeschossen aufgestellt werden kann, auch häufigen Reparaturen unterliegt. Hierin liegen Gründe genug, um nach Prägewerken zu streben, welche bei geringerem Raumbedarfe leicht in direkte Verbindung zur Dampfmaschine gesetzt werden können und durch Druck (nicht Stoß) das Ausprägen bewirkten, mithin fast aller Orten und selbst in obere Stockwerke hinzustellen wären.*⁹²

Außerdem ließ sich der Ausstoß nicht wesentlich steigern, weil bei der dem Balancier eigenen Maschinendynamik größere Geschwindigkeit noch größere Kräfte und Belastungen hervorgebracht hätten. Und ein alter kinematischer Mangel war weiterhin vorhanden: Wenn die automatische Plattenzufuhr versagte, schlugen Ober- und Unterstempel ungeschützt aufeinander und konnten dabei zerbrechen. Die Alternative zu diesem ersten, schwerfälligen industriellen Prägesystem entstand mit der Kniehebelpresse von Uhlhorn, die sich im 19. Jahrhundert allgemein durchgesetzt hat.

⁹¹ DICKINSON 1937, S. 144: 1.200 t Jahreskapazität, S. 155: realer Ausstoß 3.531 t von 1797–1808; WALTHER 1939, S. 157: 1.200 t jährlich.

⁹² KARMARSCH 1872, S. 448 ff.

Eine neue Prägemaschine: Uhlhorns Kniehebelpresse (Abb. 22)

Der Kniehebel als druckerzeugender, kraftsteigernder Übersetzungsmechanismus mag älter sein. 1811 hat jedenfalls Iwan Afanasevic Nevedomskij (1785–1813) an der Petersburger Münze mit einer kleinen Kniehebelpresse experimentiert. Diedrich Uhlhorn (1764–1837) baute 1817 in Grevenbroich seine erste Presse und belieferte seit 1818 preußische und ausländische Münzstätten mit diesen Maschinen.⁹³

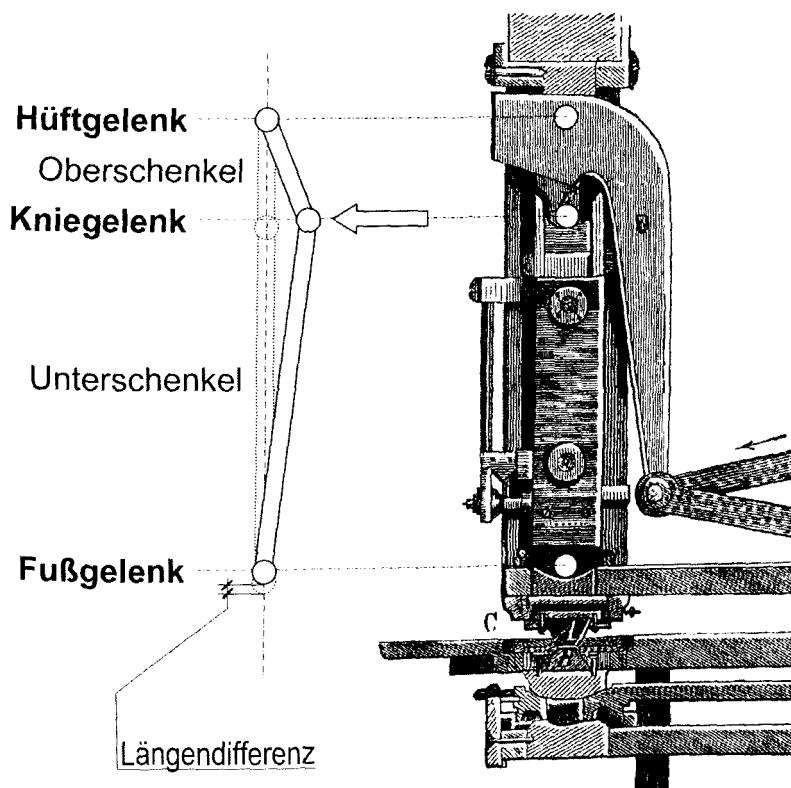


Abb. 22: Uhlhornsche Kniehebelpresse. DALCHOW 1900, S. 703, Abb. 1613.

Der Kniehebelmechanismus ist genau genommen ein Kniegelenk-Hebelmechanismus (Abb. 23).⁹⁴ Er saß bei diesen Maschinen in einem schweren, rechteckigen Gussrahmen, an dessen oberem Querstück sich das „Hüftgelenk“ befand. Über den „Oberschenkel“, das „Kniegelenk“ und den „Unterschenkel“ stand

⁹³ KARMARSH 1872, S. 450 f.; VON SCHRÖTTER 1926, S. 241; COOPER 1988, S. 137 ff., S. 154 f.

⁹⁴ VON SCHRÖTTER 1926, S. 240 und VON SCHRÖTTER 1930, S. 311 stellen den Mechanismus falsch dar.

es mit dem „Fußgelenk“ am Träger des Oberstempels in Verbindung. Der Effekt lag nun darin, dass man das Kniegelenk zwischen die beiden anderen Gelenke drückte, deren Abstand nur begrenzt vergrößert werden konnte, weil das Fußgelenk mit dem Oberstempel auf die Münzplatte traf. Unter- und Oberschenkel verspannten sich sehr stark, es entstand eine hohe Druckkraft. Der Weg blieb aber begrenzt: Wenn das Kniegelenk durchgedrückt wurde, verkürzte sich der Abstand wieder und die Druckkraft sank. Diese Anordnung ließ sich so einstellen, dass der Oberstempel nicht auf den Unterstempel aufschlagen konnte, wenn keine Platte eingelegt war.

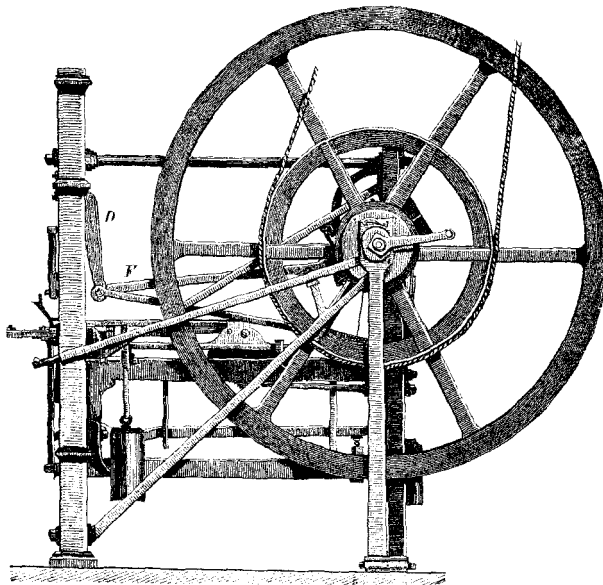


Abb. 23: Kniehebelmechanismus einer Uhlhornpresse. Skizze des Verfassers unter Verwendung von DALCHOW 1900, S. 703, Abb. 1612.

Der Antrieb erfolgte anfangs über eine Handkurbel, später über eine Riemenscheibe von der Transmission her. Er setzte ein großes Schwungrad in Bewegung, an dem Kurvenscheiben befestigt waren, die über ein Gestängesystem den Kniehebelmechanismus, aber auch den Zufuhr- und Auswurfapparat bewegten.⁹⁵ Die Umformarbeit wurde in dem in immer gleicher Drehrichtung laufenden Schwungrad gespeichert. Eine Bewegungsumkehr wie beim Schwengel des Stoßwerkes fand nicht statt, der Energieverbrauch durch die Prägestöße führte lediglich zu geringer Drehzahlabsenkung, die durch den Riemenantrieb wieder wettgemacht wurde.

⁹⁵ PRECHTL 1840, S. 255 ff., Tafeln 212 und 213.

Die Vorteile der Kniehebelpressen gingen weit über die der Boulton'schen Maschinerie hinaus. Auch hier waren natürlich Plattenzufuhr und Münzauswurf automatisiert. Das Antriebssystem war einfacher und mit den gängigen Riementransmissionen kompatibel, die Belastungen des Gebäudes durch Krafteinwirkung waren viel geringer. Außerdem war die Gefahr ungeschützten Aufeinanderschlagens der Werkzeuge gebannt. Durch den kurzen Hub und die geringen Massen des Kniehebelmechanismus war eine Steigerung der Schlagfrequenz möglich. Diese hat im 19. Jahrhundert mit 40 bis 70 Hübten nicht über der des Boulton'schen Balanciers gelegen, stieg aber im 20. Jahrhundert bis auf mehrere hundert Hübten an.⁹⁶

Die Kniehebelpresse löste den Balancier als industrielle Prägemaschine ab. Uhlhorn's Maschinen verbreiteten sich in den preußischen Münzstätten und fanden nach 1830 Nachahmer, Lizenznehmer und Verbesserer in Frankreich, den USA und England.⁹⁷ Ihr Grundprinzip bildet noch heute das Rückgrat der Münzprägung.

Die zweite Modernisierung des Balanciers: Chéret

Trotzdem behielt der Balancier eine wichtige Rolle in den Münzwerkstätten: Er diente weiterhin als Einsenkmaschine bei der Stempelherstellung und wurde dabei zu einer Universalmaschine der industriellen Blechverarbeitung weiterentwickelt. Den ersten wichtigen Schritt dazu unternahm 1860 ein gewisser Chéret, der in der Pariser Münze einen vorhandenen Balancier mit Reibradantrieb ausstattete (**Abb. 24**).⁹⁸ Der Schwengel war durch ein Schwungrad mit lederbezogenem Radkranz ersetzt. In einem separat über dem Balancier errichteten Gestell lagerte eine riemengetriebene, axial verschiebbliche Welle mit zwei Reibscheiben, die der Aufleger über ein Fußpedal abwechselnd mit dem Schwungrad in Kontakt brachte, um so die Auf- und Abbewegung der Spindel zu bewirken. Damit war auch für diesen Maschinentyp ein einfaches, zu jeder Riementransmission passendes Antriebssystem geschaffen worden und zugleich das Urmodell der Friktionsspindelpresse entstanden, die in den nächsten 100 Jahren eine wichtige Rolle in der Blech verarbeitenden Industrie spielen sollte.

⁹⁶ SCHLÖSSER 1884, S. 237, Tabelle; SCHULER 1996, S. 528: Hubzahl 650- 850/min.

⁹⁷ COOPER 1988, S. 144.

⁹⁸ LABOULAYE 1861; KARMARSH 1872, S. 449; FRÉMONT 1916, S. 26.

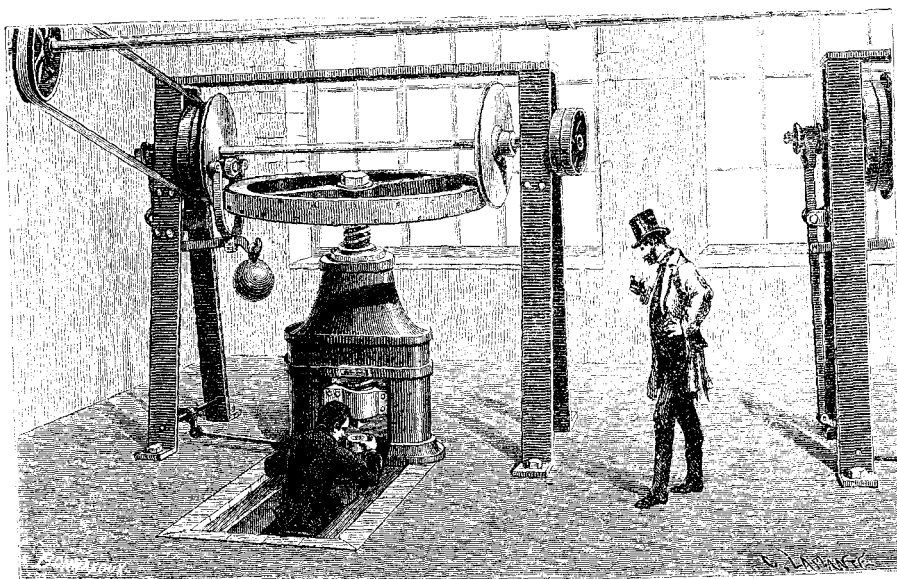


Abb. 24: Balancier mit Riemenantrieb, nach Chéret 1861. VOGT 1896, S. 128, Abb. 70.

Massenfertigung und Maschinisierung

Bevor wir zum Schluss einen Blick auf die industrielle Umformtechnik werfen, sei noch eine Antwort versucht auf die Frage nach den verschiedenen Formen der Massenproduktion in der Münzfertigung: Welche Randbedingungen lassen sich finden für den Übergang von der Hammerprägung zu den frühneuzeitlichen maschinengestützten und von diesen zu den industriellen Herstellungsweisen?

Eine erste Orientierung bekommt man, wenn man auf die Metallmengen schaut, die zur Verarbeitung anstanden. Hammerprägung hatte eine Jahreskapazität von einigen 1.000 kg Münzmetall, und die Stolberger Münze arbeitete im Handbetrieb, solange es um jährliche Silbermengen in dieser Größenordnung ging.⁹⁹ Die Maschinisierung auf dem Stand des 17./18. Jahrhunderts, mit handgesteuerten und meist auch von Hand getriebenen Maschinen, wurde 1763 ins Auge gefasst, als es um die Neuprägung guten Geldes aus den minderwertigen Münzen des Siebenjährigen Krieges ging und man es mit Jahresmengen von mehr als 10.000 kg zu tun bekam.¹⁰⁰ Einen

⁹⁹ BECKMANN 1802, S. 637 gibt für die Zellerfelder Münze an, es sei *noch gar nicht lange, daß [...] in einem Jahr über 20.000 Mark vermünzt worden*, also etwa 5.000 kg Metall. Nach Mitteilung von Monika und Dietrich Lücke lagen die Jahresdurchschnitte der Stolberger Feinsilberausbeute vor 1763 fast immer deutlich unter 1.000 kg.

¹⁰⁰ Nach Mitteilung von Monika und Dietrich Lücke wurden von November 1763 bis August 1764 rund 12.600 kg vermünzt.

ähnlichen Sprung im Produktionsvolumen finden wir beim Übergang zur industriellen Münzprägung. Die Aufträge, die Matthew Boulton in Birmingham jährlich erledigte, liegen im Bereich von mehreren 100.000 kg Münzmetall, bei einer Kapazität seiner Anlage von 1.200.000 kg.¹⁰¹ Grob vereinfachend kann man sagen, dass die zu prägenden Mengen jeweils um ein bis zwei Zehnerpotenzen gewachsen waren.

Diesen Differenzen in den Prägemengen entsprechen markante Unterschiede im Technisierungsgrad der Produktionsstätten. Die Hammerprägung war eine handarbeitliche Massenfertigung mit relativ geringer sachtechnischer Ausstattung. Die einfache maschinengestützte Massenfertigung der Frühen Neuzeit erforderte, wie die Stolberger Kostenvoranschläge¹⁰² zeigen, wesentlich höhere Investitionen, kam aber noch gänzlich ohne komplexe automatische Mechanismen aus. Bei der noch viel aufwändigeren teilautomatisierten maschinengestützten Massenfertigung des Industriezeitalters dagegen spielten gerade solche Mechanismen eine entscheidende Rolle. Sie machten den Menschen nicht nur beim Antrieb der Prägewerke, sondern vor allem beim Einlegen der Platten und Auswerfen der Münzen überflüssig. Erst das ermöglichte die effektive Anwendung komplizierter Ringprägewerkzeuge und damit die Herstellung perfekter Geldstücke in größten Stückzahlen.¹⁰³

6. Ausblick: Die industrielle Umformtechnik

Neben der Friktionsspindelpresse entstanden im Laufe des 19. Jahrhunderts für den allgemeinen Gebrauch in der Metall verarbeitenden Industrie Pressen mit Kniehebeln, aber auch solche mit Exzenter- und Kurbelmechanismen und mit hydraulischer Kraftverstärkung. Anwendung fanden sie in der Massivumformung, also beim Schmieden, vor allem aber in der sich rapide entfaltenden industriellen Bearbeitung von Feinblechen. Dabei spielten dann andere und zum Teil neu entwickelte Verfahren eine größere Rolle als Ausschneiden und Prägen. Vor allem das Tiefziehen, mit dem Hohlkörper aus Blech geschaffen werden, eroberte eine zentrale Stellung.

Möglich wurde dieser Boom der Blechverarbeitung, weil sich um 1820/1830 das Walzen als hüttentechnisches Verfahren zur massenhaften Herstellung industrieller

¹⁰¹ Siehe oben Fußnote 91.

¹⁰² LÜCKE 2005, S. 45–52.

¹⁰³ Dass in der Bewegung [...] durch die Dampfmaschine durchaus nicht die Wichtigkeit der Boulton'schen Erfindung liegt, sondern in dieser Automatisierung der Materialzufuhr, hat schon FLÖRKE 1805, S. 954 betont.

Halbzeuge etabliert hatte.¹⁰⁴ Nun war die billige Massenproduktion von Profileisen und Blechen möglich, die man früher mühsam unter dem Wasserhammer hatte schmieden müssen. Tausenderlei Alltagsgegenstände, die vorher aus Holz, Horn, Knochen, Ton oder Gussmetall bestanden hatten, und die heutzutage aus Kunststoff hergestellt werden, fertigte man bis in die 1950er Jahre aus Feinblech: Essbestecke, Tafelgeschirr, Töpfe, Kannen, Korsettstäbe, Konservendosen und vieles mehr (**Abb. 25**). Um die Mitte des 19. Jahrhunderts begann man damit, auch komplexe Kleinmechanismen teilweise oder ganz aus Blech statt aus Vollmaterial herzustellen. Das fing an mit Uhren, ging weiter mit Büromaschinen, Fahrrädern und Elektromotoren und führte schließlich zu den modernen selbst tragenden Automobilkarosserien und Flugzeugrümpfen.

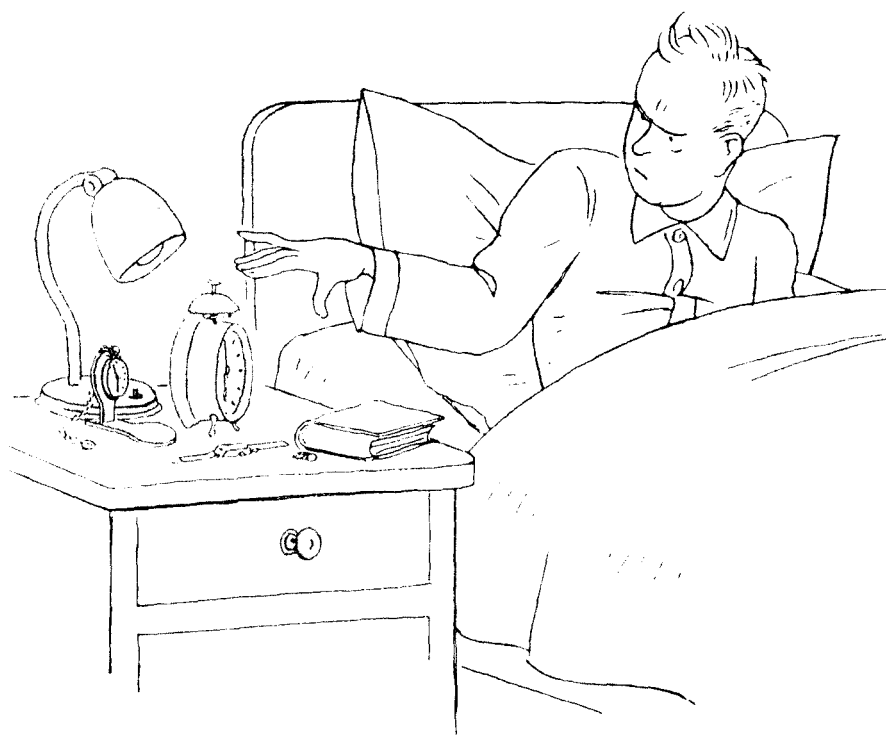


Abb. 25: Beispiele für Blechpressprodukte im Alltag. SCHULER 1939, S. 12 f.

Neben der Konstruktion der Pressmaschinen ist dabei die der Werkzeuge immer wichtiger geworden. Was sich in der Münztechnik schon bei Droz, Boulton und Uhlhorn gezeigt hatte, dass nämlich moderne Massenproduktion von der Komplexi-

¹⁰⁵ PAULINYI 1989, S. 131 ff.

tät und Ingeniosität der Werkzeuge abhängt, galt natürlich auch für die anderen Bereiche der Umformtechnik.

Das Bild zur Kotflügelherstellung in der Automobilindustrie (Abb. 26) verdeutlicht noch einmal Herkunft und Ergebnis dieser Entwicklung. Es werden drei Entwicklungsstufen gezeigt: die Handarbeit der Klempner um 1905, die maschinelle Klempnerei um 1910, in der unter anderem die aus dem Balancier hervorgegangene Friktionsspindelpresse vorkommt, und der Einsatz einer hydraulischen Großpresse in den 1930er Jahren, die alle Arbeitsgänge in einem zusammenfasst. Sie formt den Kotflügel und heute die ganze Karosserieseite mit einem einzigen Schlag, so wie früher das Stoßwerk die Münze.

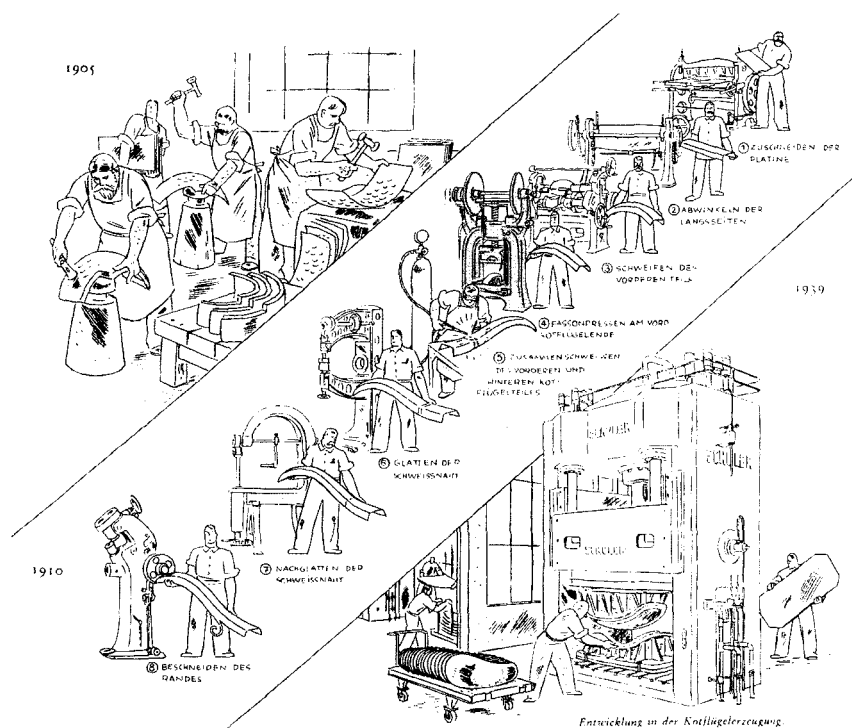


Abb. 26: Kotflügelfertigung 1905, 1910 und 1939. Die aus dem Balancier entwickelte Friktionsspindelpresse findet sich im diagonalen Mittelstreifen unter Position 4. SCHULER 1939, S. 95.

Die frühneuzeitliche Münztechnik ist eine ganz wesentliche Keimzelle dieser modernen Blechverarbeitung gewesen. Zaine, Platten und Münzen waren ja technologisch nichts anderes als Blech in verschiedenen Bearbeitungsstadien. Brauchbare Maschinen für diese massenhaften Bearbeitungsvorgänge wurden zuerst in den Münzstätten gebaut und regelmäßig angewandt. In der Industrialisierung erfuhren

sie dann einen enormen Entwicklungsschub und wurden zu einem Rückgrat der modernen Konsumgesellschaft.

Anhang: Fertigungsspuren an Münzen der Frühen Neuzeit

Dieser Anhang ist ein erster, noch unvollkommener Versuch, die an Münzen auftretenden Spuren der formgebenden Bearbeitung im Überblick darzustellen. Solche Fertigungsspuren können Hinweise geben auf die erreichte Perfektion der Werkzeuge und Maschinen und auf die bei der Ausführung der Arbeiten geübte Sorgfalt. Sie können aber auch zu Fehlinterpretationen verführen, weil sie sich bei fortschreitender Bearbeitung überlagern und weil ähnliche Formabweichungen unterschiedliche Gründe haben können (so entstehen gebogene Münzen durch Ausschneiden mit schrägem Schneidstempel oder als eine Form der Welligkeit bei der Walzprägung). Die folgenden Beschreibungen sind also keine abschließende Zusammenfassung, sondern eine Aufforderung, bei Münzbetrachtungen noch genauer auf solche Spuren zu achten und noch intensiver über ihre Entstehung nachzudenken. Letzten Endes werden sich viele dabei auftretende Fragen nur durch experimentellen Nachvollzug alter Arbeitsweisen beantworten lassen.

Wie oben beschrieben, lassen sich im Formgebungsprozess von Münzen fünf technologische Abschnitte unterscheiden: Strecken, Schneiden, Justieren, Schlagen und Prägen. In jedem dieser Abschnitte hinterließen die Werkzeuge und Maschinen charakteristische Fertigungsspuren an den Zainen, Platten und Münzen. Manche sind noch an den fertigen Münzen sichtbar, andere wurden im fortschreitenden Prozess überformt und verschwanden dabei. Im Folgenden sind nur bleibende Spuren gesperrt gedruckt.

Spuren vom Strecken der Zaine (Abb. 27)

Beim Strecken konnten Unregelmäßigkeiten der Oberfläche und der Dicke entstehen. Nur die Letzteren wirkten sich unter bestimmten Umständen auf die endgültige Gestalt der Münzen aus.

Wenn mit Hammer und Amboss gearbeitet wurde, war auf den Oberflächen mit Hammerschlagspuren zu rechnen, geringen, recht gleichmäßig verteilten Unebenheiten, die später überprägt wurden. Von der Sollstärke gleichmäßig abweichende Dicke blieb unproblematisch, weil sie durch das Flachschlagen hinreichend korrigiert wurde. Dasselbe kann für ungleichmäßige Dicke angenommen werden.

Das Walzwerk konnte Drehriefen, Risse und Scharten in der Walzenfläche auf den Zain übertragen. Auch sie wurden später überformt. Durch den Härteverzug der Walzen schwankte die Stärke des Zains, wobei gleichmäßig abweichende Dicke spä-

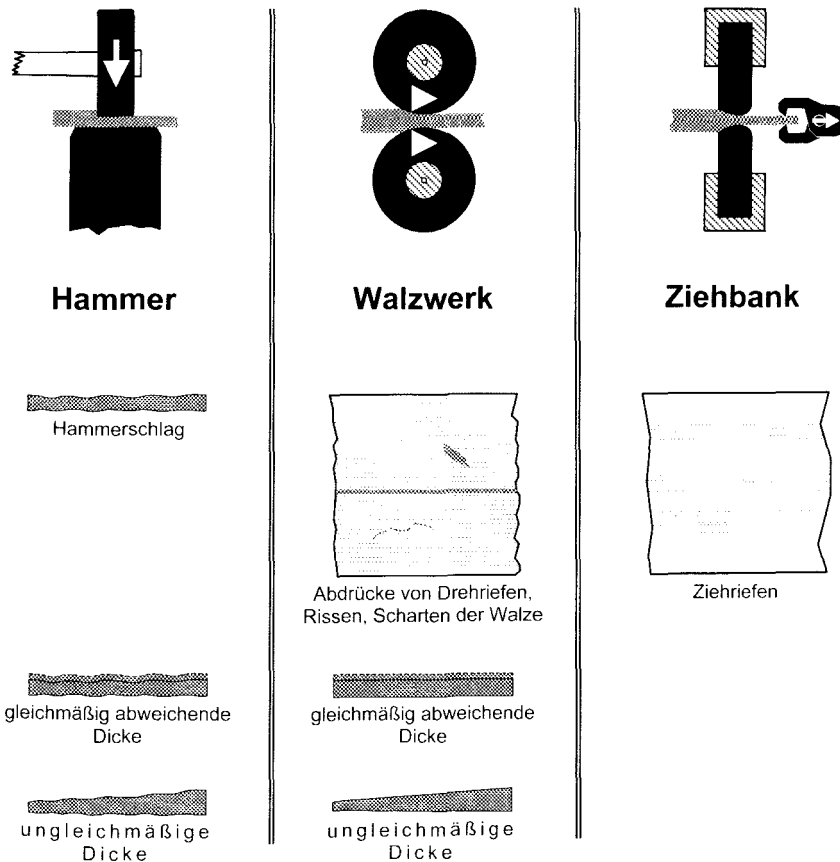


Abb. 27: Spuren vom Strecken. (Skizze des Verfassers).

ter durch Aussortieren der zu leichten dünnen oder durch Justieren der zu schweren dicken Platten korrigiert wurde. Ungleichmäßige Dicke ließ sich dagegen nicht so leicht beheben, weil sie durch Wiegen der Platten nicht erfasst wurde und präzises Abfeilen beim Justieren zu viel Aufwand bedeutet hätte. Beim Prägen führten verbliebene Dickstellen dann zu seitlicher Ausquetschung von Münzmaterial (siehe unten).

Die Ziehbank mit ihren starr angeordneten Backen beseitigte die beim Hämmern oder Walzen entstandenen Unregelmäßigkeiten und lieferte einen Zain mit glatter Oberfläche und gleichmäßiger, exakter Dicke. Wenn die Ziehflächen der Backen Scharten aufwiesen, konnten sich diese auf der Zainoberfläche als Ziehriefen abbilden, die jedoch überformt wurden.

Spuren vom Schneiden der Platten (Abb. 28)

Stückeln und Ausschneiden ergaben Platten mit charakteristischen Spuren an den Schneidkanten und mit Abweichungen von der idealen flachzylindrischen Grundform. Die Blätter der Scheren oder Schneidstempel und Matrize des Durchstoßes gingen eng aneinander vorbei und hinterließen am Schnitttrand des Werkstückes unten eine runde Kante, die beim Eindringen von Scherenblatt bzw. Matrize entstand. Dieser folgte eine Zone mit Bruchflächen, die durch das Auseinanderreißen des Materials, oder mit Riefen, die durch das Vorbeigleiten an Scherenblatt oder Matrize zustande kamen. Schließlich bildete sich oben durch das zipfelige Abreißen des umgebenden Materials und durch das Ausziehen dieses Zipfels zwi-

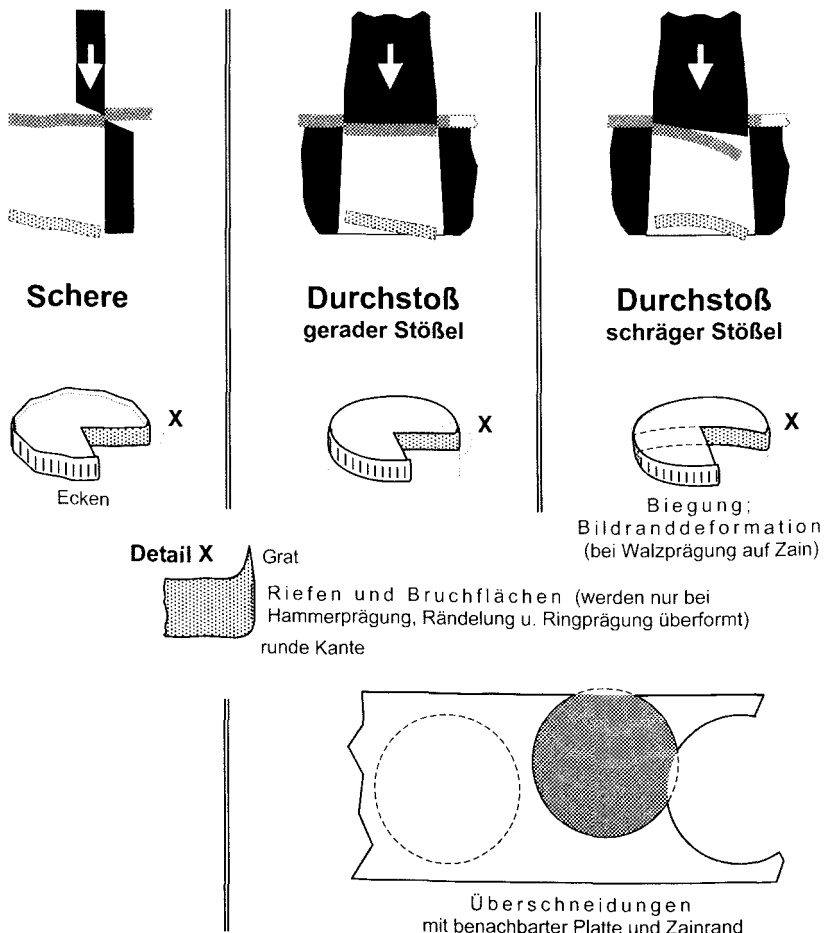


Abb. 28: Spuren vom Schneiden. (Skizze des Verfassers).

schen den beiden Schneidorganen ein Grat. Die runde Kante wurde später ebenso überformt wie dieser Grat, der auch schon beim Justieren abgefeilt oder, wenn er sehr fein war, beim Reinigen in der Scheuertrommel abgewetzt werden konnte.

Bei Hammerprägung wurde mit der Schere gestückelt, man bekam unregelmäßige Platte mit vielen Ecken (bekanntlich hat man aus Gründen der Materialersparnis sogar quadratische Platten vom Zain geschnitten und rund ausgehämmt).¹⁰⁵

Das Ausschneiden auf dem Durchstoß ergab runde oder elliptische Platten, das Problem der Ecken und ihrer Beseitigung entfiel. Wenn man aber Schneidstempel mit stärker angeschrägter Schnittfläche verwendete, erhielten die Platten eine deutliche Biegung, aus der nach dem Flatschlagen ein schräger Rand resultieren konnte, und angeblich auch eine elliptische Streckung (siehe unten). Wenn der Zain unter dem Durchstoß nicht exakt vorgeschoben wurde, ergaben sich Überschneidungen mit dem Zainrand oder der zuvor ausgeschnittenen Platte. Sie zeigen sich als gerade bzw. kreisbogenförmige Fehlstellen am Rand der Münze. Wenn bei Walzprägung auf Zain die fertige Prägung mit Schneidstempel und Matrize ausgeschnitten wurde, müssen Bilddeformationen im Bereich des Randes aufgetreten sein (durch konkave Schnittfläche des Schneidstempels ließ sich vermeiden, dass die ganze Fläche flach gedrückt wurde); durch Locheisen konnte das vermeiden werden.

Spuren vom Justieren der Platten (Abb. 29)

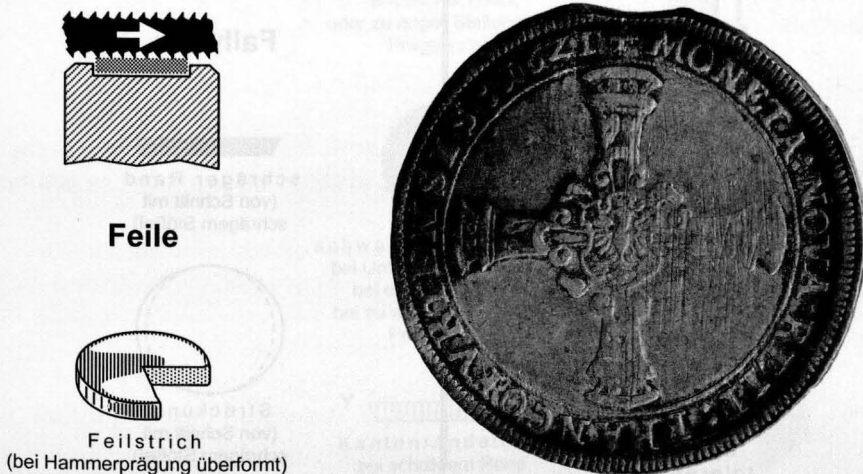


Abb. 29: Spuren vom Justieren. Skizze des Verfassers und Foto von Frank Berger, Historisches Museum Frankfurt a. Main, Münzkabinett.

¹⁰⁵ LUSCHIN VON EBENGREUTH 1926, S. 81, mit Abbildungen von Vierschlagpfennigen und Rohplatten.

Handgearbeitete Platten wurden direkt nach dem Schneiden, maschinell erst nach dem Flachschiagen justiert. Das konnte, wenn die Feile zu grob war oder Späne an ihr fest hingen, zu deutlichem Feilstrich auf den Flächen und ggf. am Rand führen. In der Hammerprägung bestand die Chance, den Feilstrich beim Flach- und Rundschiagen zu überformen; auf Platten für maschinelle Prägung blieb er sichtbar, weil außer dem Prägen keine Formgebung mehr folgte.

Spuren vom Schlagen der Platten (Abb. 30)

Beim Flach- und/oder Rundschiagen sollten Unzulänglichkeiten aus den vorangegangenen Bearbeitungsschritten so weit korrigiert werden, dass möglichst gleichmäßige, prägefertige Platten entstanden. Handgearbeitete Platten wiesen trotz langwieriger und sorgfältiger Bearbeitung immer Durchmesser- und Dickenabweichungen auf und hatten Randfacetten vom Rundhämmern.

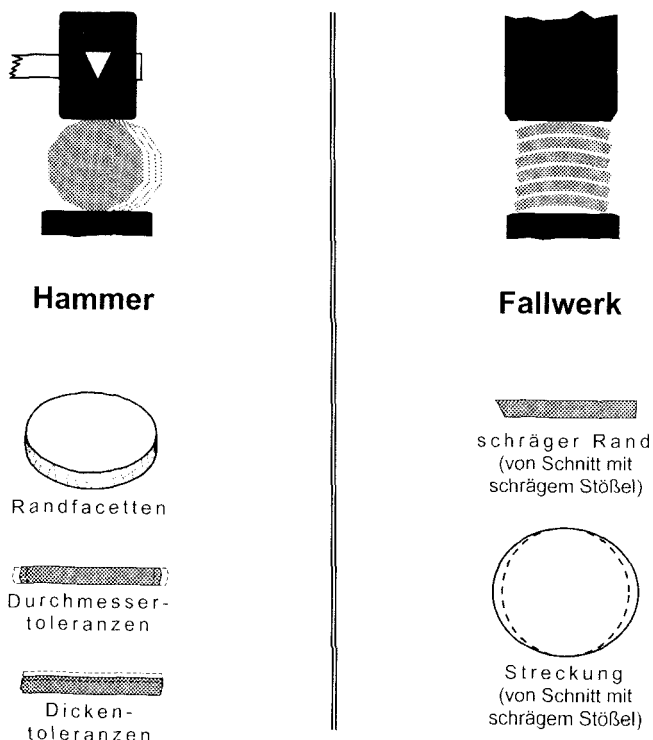


Abb. 30: Spuren vom Schlagen. (Skizze des Verfassers).

Bei den Maschinenprägungen spielte dieser Abschnitt eine ganz untergeordnete Rolle. Die Platten mussten nur dann flach geschlagen werden, wenn sie mit schrä-

gem Schneidstempel ausgeschnitten und dabei stärker gebogen worden waren. Dabei ergab sich aus den geometrischen Verhältnissen beim schrägen Ausschneiden u. U. die oben schon erwähnte elliptische Streckung und der Schrägrand an den flachen Platten.¹⁰⁶

Spuren vom Prägen: Rändeln (Abb. 31)

Beim Rändeln führten Abweichungen der Platte von der Kreisform und schräge Ränder zu unregelmäßigem Randmuster.¹⁰⁷ Unpräzise Längseinstellung der Prägeleisten zog Abschnitte mit doppelter bzw. fehlender Rändelung nach sich.

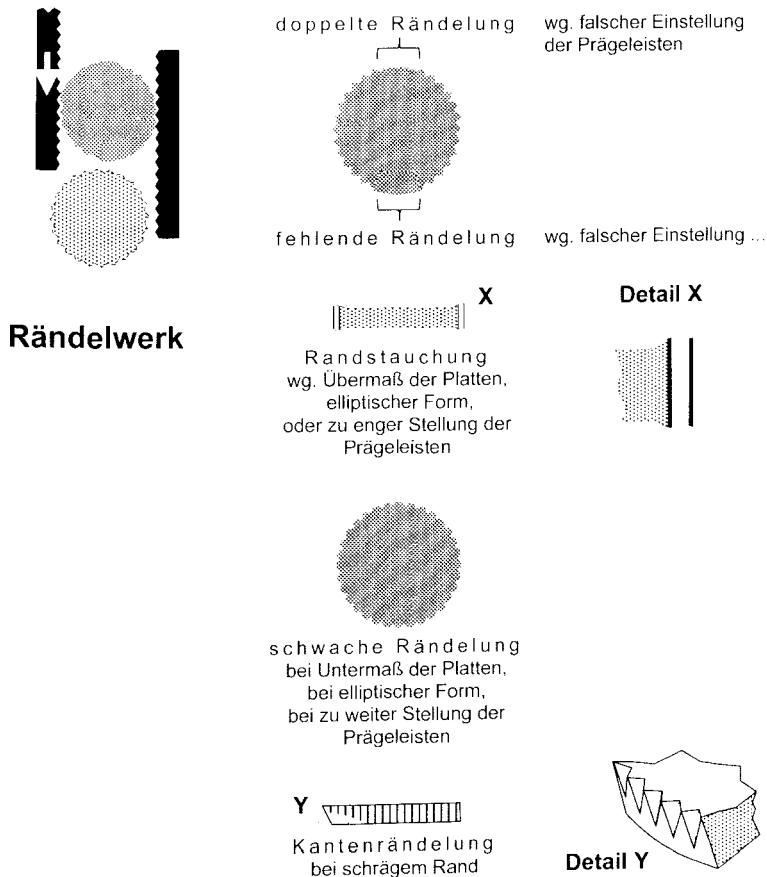


Abb. 31: Spuren vom Rändeln. (Skizze des Verfassers).

¹⁰⁶ FLOERKE 1805, S. 873.

¹⁰⁷ FLOERKE 1805, S. 899 ff.

Zu großer Plattendurchmesser oder zu enger Abstand der Prägeleisten ergaben merkliche Randstauchung, die bei offener Prägung zu kleineren Ausquetschungen des Randes führen konnte, bei Ringprägung jedoch zu dessen guter Ausformung beitrug. Zu geringer Plattendurchmesser oder zu weiter Abstand der Prägeleisten erzeugten zu schwache Rändelung, schräger Rand Kantenrändelung.

Spuren vom Prägen: Stoßprägung (Abb. 32)

Beim Prägen entstanden die meisten und, weil keine Überformung mehr folgte, die markantesten Herstellungsspuren an den Münzen. Hier entschied sich auch, was aus den Formdefekten früherer Bearbeitungsschritte wurde. An Münzen aus Hammerprägung kam es durch das Halten des Oberstempels mit der Hand zu mehrfachen Verschiebungen zwischen Platte und Bildflächen. Bei Versatz lagen Stempelpaar bzw. Bildflächen exzentrisch zur Platte; bei Bildversatz waren sie außerdem gegeneinander verschoben, und eine Bildverdrehung entstand, wenn die Vertikalachsen der Gravuren nicht exakt in dieselbe Richtung wiesen. Typisch sind Winkelabweichungen irgendwo zwischen 0° und 90° . Daneben konnte, wie oben beschrieben, flächige Doppelprägung bei gerade gehaltenem und sektorale Doppelprägung bei schräg gehaltenem Oberstempel entstehen. Am Rand konnte es zu Ausquetschungen durch Schrägstellung des Oberstempels kommen, aber auch durch die oben beschriebene Dickenabweichung der Platten (Detail X). Es ist jedoch wahrscheinlich, dass dieser Effekt abgeschwächt wurde, weil der Oberstempel beim Schlag leicht kippte, bis die Gravur voll auf der Plattenfläche lag. Schließlich verstärkten sich Durchmesserabweichungen, weil an den ohnehin nicht ganz gleichmäßigen Platten beim offenen Prägen das Material am Rand etwas nach außen quoll.

Die offene maschinelle Stoßprägung mit Schlagwerk, Fallwerk oder Stoßwerk ergab insgesamt ähnliche, in ihrer Deutlichkeit aber modifizierte Spuren. Bei den Verschiebungen bedeutete das: Auch hier trat Versatz ein, wenn man die Platte exzentrisch eingelegte, aber Bildversatz konnte durch exakte Ausrichtung der Stempel in der Maschine fast ganz vermieden werden. Bildverdrehung verschwand, wenn die im Grundriss quadratischen Stempel richtig in der Maschine saßen, oder betrug 90° , 180° bzw. 270° , wenn diese falsch montiert waren. Flächige Doppelprägung konnte auftreten, die sektorale Mehrfachprägung war jedoch nicht mehr möglich, weil sich die in der Maschine geführten Stempel nicht schräg stellen ließen und so die Prägeflächen immer parallel lagen. Trotz der auf dem Durchstoß geschnittenen, in engen Grenzen gleich großen Platten war wegen des Ausquellens Prägung auch hier mit kleineren Durchmesserabweichungen zu rechnen. Deutlicher wirkte sich u. U. ungleichmäßige Dicke aus. Sie konnte zwischen den parallelen Prägeflächen zu stärkeren Ausquetschungen von Münzmetall führen (Detail X). Schließlich muss bei vorangegangener Rändelung zwischen Rand und

Flächen eine Art Kantenstörung aus der Überlagerung der beiden aufeinander folgenden Prägevorgänge entstanden sein (Detail Z).

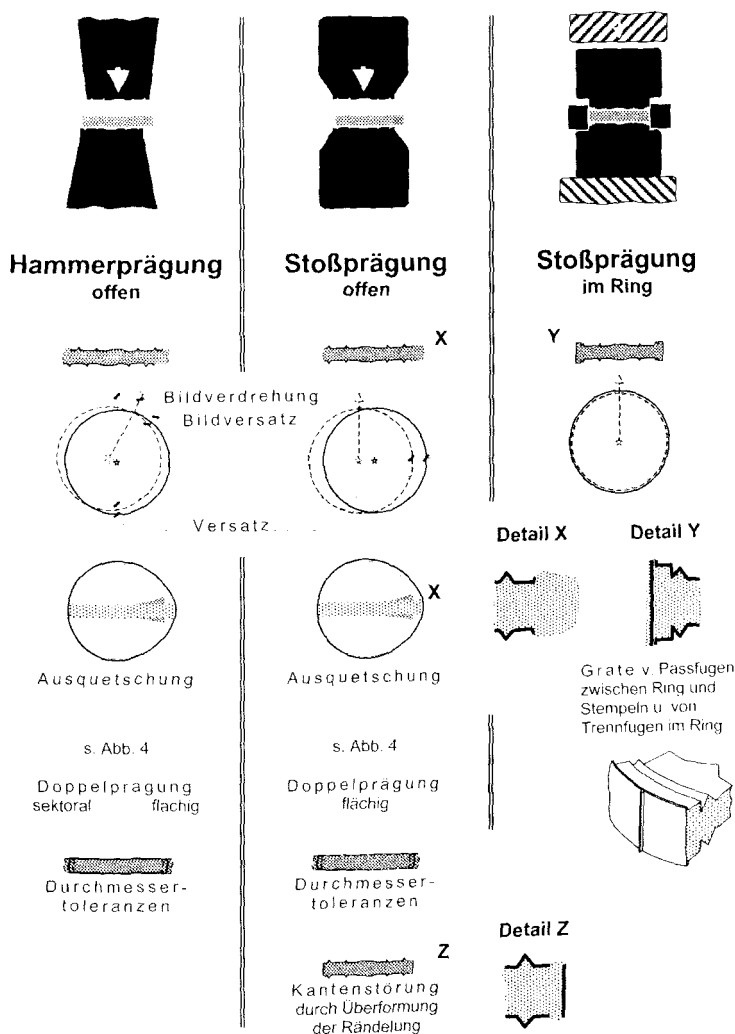


Abb. 32: Spuren vom Stoßprägen. (Skizze des Verfassers).

Die Stoßprägung im Ring erzeugte praktisch keine Spuren mehr, die als Abweichung von der idealen Münzgestalt sichtbar wurden, und überformte diejenigen, die zuvor entstanden waren. Lediglich Werkzeugfehler wie Risse oder Abplatzungen konnten sich auf der Münze abbilden, und an den Passfugen zwischen Ring und Stempeln entstand u. U. einen schwachen Grat (Detail Y), bei gespaltenem Ring ebenso an der Trennfuge der Ringsegmente.

Spuren vom Prägen: Walzprägung (Abb. 33)

Die Walzprägung auf Zain bewirkte als markantes, häufiges Merkmal der geprägten Zaine und damit der Münzen Welligkeit. Sie rührt von der verschiedenen starken Umformung durch die einander gegenüberliegenden, aber nicht symmetrischen

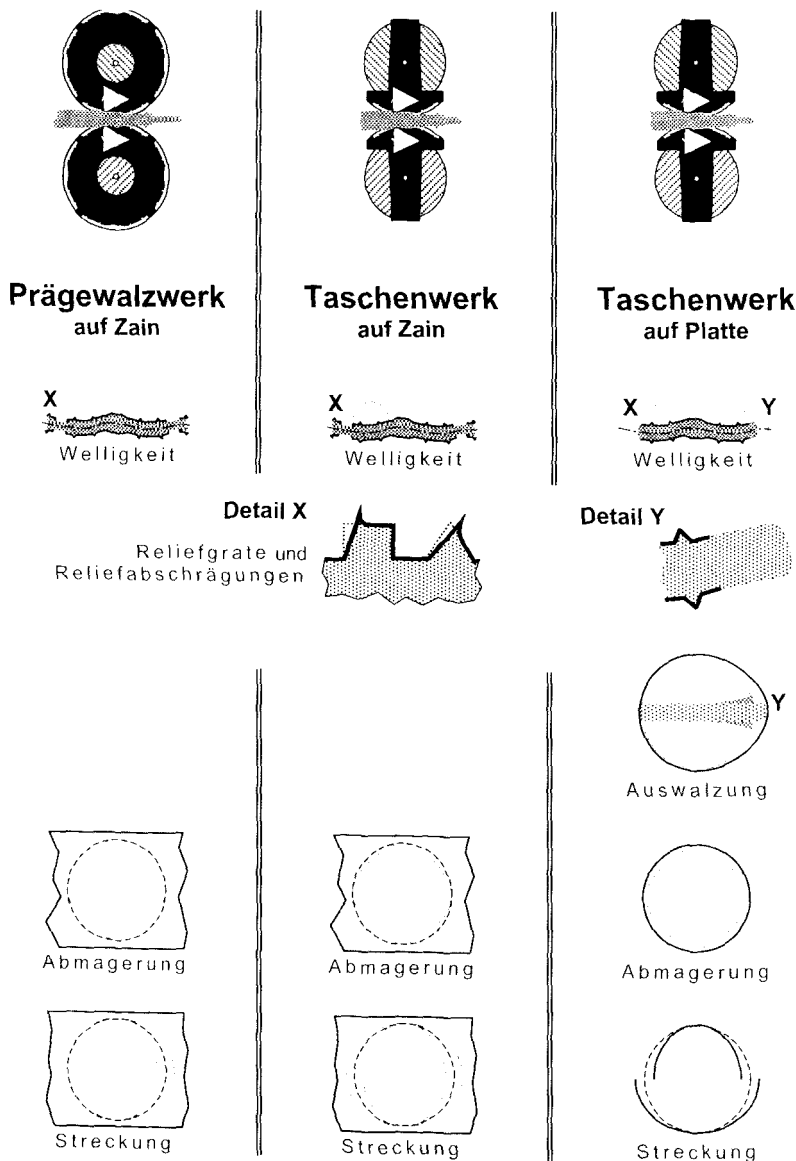


Abb. 33: Spuren vom Walzprägen. Skizze des Verfassers

Partien der Walzengravur her. Außerdem erzeugte die tangentielle Kraft der Walzen, die den Zain zwischen sich hindurch zogen, an den oberen Kanten des Reliefs *Abschrägungen und Grate* (Detail X). Bei prägefrischen Stücken müssten sie erkennbar sein, im Umlauf dürften sich aber vor allem die feinen Grate schnell abgenutzt haben. Aus abweichender gleichmäßiger Dicke oder ungenauer Einstellung des Walzenabstandes ergab sich häufig eine zu geringe oder zu große Streckung des Prägebildes, statt der Kreisform entstanden Ellipsen. Diese, aber auch Kreisformen zeigen häufig eine *Abmagerung* ihrer Gestalt in Richtung auf ein Viereck. Das ist die Folge von Gravierfehlern, denn viele Stempelschneider hatten Schwierigkeiten, auf den gewölbten Walzenflächen exakt zu arbeiten. Dagegen wirkte sich unregelmäßige Dicke nicht merklich aus, weil überschüssiges Material zwar im Zain umgelagert wurde, aber keine Ausquetschungen entstehen konnten, die die Kreisform der Münze störten – diese wurde ja erst zuletzt beim Ausschneiden erzeugt.

Bei der Walzprägung auf Platten waren die meisten Spuren ähnlich. Es gab die *Welligkeit* der fertigen Münzen, auch mit *Reliefabschrägungen und -graten* musste gerechnet werden. Die Abmagerungen der Kreisformen durch Gravierfehler findet sich ebenso wie die elliptische Streckung des Prägebildes, die hier auch die Münzkontur erfasst. Die Ausquetschungen fielen dagegen sehr viel markanter aus als bei allen anderen Prägeverfahren. Es handelt sich genauer gesagt um *Auswalzungen*: Das überschüssige Material wurde am Rand nicht nur herausgedrängt, sondern auch noch weiter ausgewalzt, bis es die gleiche Dicke hatte wie die Münze (Detail Y).

Offene Fragen

Das hier entfaltete Spektrum ist, wie gesagt, unvollständig. So gibt es neben den Phänomenen, die direkt aus der Eigenart der formgebenden Prozesse herrühren, andere, die auftreten, wenn die zwischengeschalteten Glühvorgänge nicht sorgfältig genug ausgeführt werden. Das Münzmaterial bleibt dann spröde, und das kann beim Walzen zu rauer, runtziger Oberfläche führen und beim Schlagen und Prägen zu radialen Rissen im Münzkörper.¹⁰⁸

Außerdem ändern sich unter Umständen die Spuren, die ein Werkzeugpaar im Laufe einer Bearbeitungsperiode an Platten oder Münzen hinterlässt. Wenn z. B. Schneidstößel und Matrize im Durchstoß stumpf werden, können am Rand gröbere Grate und Schnittflächen entstehen, die im weiteren Prozess nicht mehr völlig überformt werden.

¹⁰⁸ Siehe z. B. BESLY 1993, Tafel 2, Abb. 15 und 16.

Und schließlich scheint es so, dass bestimmte Spuren viel zu selten auftreten. Die Bildranddeformation durch nachträgliches Ausschneiden bei Walzprägung auf Zain ist so ein Fall: Sie ist trotz der Häufigkeit solcher Münzen kaum zu beobachten, was den Schluss nahe legt, dass man meist mit Locheisen ausgeschnitten hat – dagegen spricht aber die empfindliche spitzwinklige Schneide dieses Werkzeuges.

Entscheiden lassen sich solche Fragen nur, wenn man zusammenhängende Münzbestände systematisch auf Spuren untersucht und zugleich anfängt mit Experimenten zu den Formgebungsschritten der Hammerprägung, aber auch der maschinellen Herstellungsweisen. Die alte münztechnische Literatur bietet dafür genügend Anleitung.

Literatur

- ANSELL 1871: ANSELL, GEORGE FREDERICK: *The Royal Mint, Its Working, Conduct and Operations, Fully and Practically Explained*, London 1871.
- ARCHIBALD/COWELL 1993: ARCHIBALD, M. M. und COWELL, M. R. (Hg.): *Metallurgy in Numismatics 3*, London 1993 (= Royal Numismatic Society, Special Publication 24).
- AUST 1995: AUST, HORST: Eine Spindelpresse auf einem Liegnitz-Brieger Rechenpfennig, in: *Geldgeschichtliche Nachrichten* 30, 1995, S. 196–197.
- BAMBERG 1935: BAMBERG, PAUL: Weitere Nachrichten zum maschinellen Münzbetrieb des Grafen Reinhard zu Solms, in: *Deutsche Münzblätter* 55, 1935, S. 317–326, 372–376 und 395–398.
- BECKENBAUER 1978: BECKENBAUER, EGON: Zur Technik der Hammerprägung, in: *Numismatisches Nachrichtenblatt* 27, 1978, S. 220–223.
- BECKMANN 1802: BECKMANN, JOHANN: *Anleitung zur Technologie, oder zur Kenntniß der Handwerke, Fabriken und Manufakturen, vornehmlich derer, welche mit der Landwirthschaft, Polizey und Cameralwissenschaft in nächster Verbindung stehen, nebst Beyträgen zur Kunstgeschichte*, Göttingen 1802.
- BENAD-WAGENHOFF 1990: BENAD-WAGENHOFF, VOLKER: Die Industrielle Revolution des 18. und 19. Jahrhunderts als epochale technische Umwälzung, in: *Technikgeschichte* 57. 4, 1990, S. 329–344.
- BENAD-WAGENHOFF 1991: BENAD-WAGENHOFF, VOLKER: Das Wechselspiel von Baustoff, Schneidstoff und Werkzeuggeometrie in der spanenden Fertigung des 19. und frühen 20. Jahrhunderts, in: FERRUM, *Nachrichten aus der Eisenbibliothek* 63, 1991, S. 46–57.

- BENAD-WAGENHOFF 1999: BENAD-WAGENHOFF, VOLKER: Revolution vor der Revolution?, Buchdruck und industrielle Revolution, in: SIEGFRIED BUCHHAUPT (Hg.): Gibt es Revolutionen in der Geschichte der Technik? Workshop am 20. Februar 1998 aus Anlass der Emeritierung von Akos Paulinyi, Tagungsband, Darmstadt 1999.
- BENAD-WAGENHOFF 2000: BENAD-WAGENHOFF, VOLKER: Industrieller Maschinenbau im 19. und frühen 20. Jahrhundert, in: HÄNSEROTH, THOMAS und KRAUTZ, CARSTEN (Hg.): Beiträge zur Geschichte des sächsischen Werkzeugmaschinenbaus im Industriezeitalter, Dresden 2000 (= Schriften des Vereins für sächsische Landesgeschichte 6), S. 11–30.
- BESLY 1993: BESLY, EDWARD: Rotary Coining in Britain, in: ARCHIBALD und COWELL 1993, S. 118–129.
- BLÜMNER 1912: BLÜMNER, HUGO: Technologie und Terminologie der Gewerbe und Künste bei Griechen und Römern I, Leipzig 1912.
- BULLETIN 1870: [BULLETIN]: Boultons Münzmaschine, nach dem Bulletin de la Société d'Encouragement, April 1870, S. 214, in: Polytechnisches Journal 197, 1870, S. 478–480.
- BUROSE 1984: BURROSE, HANS: Zur Geschichte der Zellerfelder Münze, in: BURROSE, HANS, FRANK, WERNER HARTMUT, KOLB, HANS EMIL und REIFF, ECKEHARD: Die Zellerfelder Münze, Vier Beiträge zur Geschichte der alten Münzstätte, Clausthal-Zellerfeld 1984, S. 7–91.
- CALVÖR 1763: CALVÖR, HENNING: Acta Historico-Chronologico-Mechanica circa Metallurgiam in Hercynia Superiori, Beschreibung des Maschinenwesens und der Hilfsmittel, Teil I und II, Braunschweig 1763.
- CASPAR 1974: CASPAR, HELMUT: Geheimaktion „Chevalier du St. Sepulchre“, Wie vor rund 420 Jahren in Frankreich ein neues Prägeverfahren eingeführt wurde, in: Numismatische Beiträge 1974, 2, S. 20–30.
- CELLINI 1974: CELLINI, BENVENUTO: Abhandlungen über die Goldschmiedekunst und die Bildhauerei, übersetzt von RUTH und MAX FRÖHLICH, technische Bearbeitung und Zeichnungen von MAX FRÖHLICH, Basel 1974.
- COINAGE 1824: Coinage, in: Encyclopaedia Britannica – Supplement to the fourth, fifth and sixth edition of the Encyclopaedia Britannica, with preliminary dissertations on the history of sciences, by DUGALD STEWARD, J. PLAYFAIR, W. T. BRANDE, ED. M. NAPIER, Band 3, Edinburgh 1824, S. 239 ff., Tafeln 61–64.
- COOPER 1988: COOPER, DENIS R.: The Art and Craft of Coinmaking, A History of Minting Technology, London 1988.

- CRAIG 1953: CRAIG, SIR JOHN: The Mint, A History of the London Mint from A. D. 287 to 1948, Cambridge 1953.
- DALCHOW 1900: DALCHOW, E.: Münzwesen, in: Das Buch der Erfindungen, Gewerbe und Industrien, Gesamtdarstellung aller Gebiete der gewerblichen und industriellen Arbeit sowie von Weltverkehr und Weltwirtschaft, 6. Band: Die Verarbeitung der Metalle, 9. Auflage, Leipzig 1900.
- DICKINSON 1937: DICKINSON, H. W.: Matthew Boulton, Cambridge 1937.
- DIN 8580: Ausschuß Begriffe der Fertigungsverfahren (ABF) im Deutschen Normenausschuß (DNA): DIN 8580, Fertigungsverfahren, Einteilung, Ausgabe Juni 1974.
- DOTY 1993: DOTY, RICHARD G.: The Industrialisation of Money: Three Examples, in: ARCHIBALD/COWELL 1993, S. 169–176.
- DOTY 1998: DOTY, RICHARD G.: The Soho Mint and the Industrialisation of Money, London 1998.
- FELDHAUS 1914: FELDHAUS, FRANZ MARIA: Die Technik der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker, 2. Auflage, München 1970.
- FELIBIEN 1699: FÉLIBIEN, ANDRÉ: Des principes de l'architecture, de la sculpture, de la peinture, et des autres arts qui en dépendent, Avec un dictionnaire des termes propres à chacun de ces arts, Paris, Jean-Baptiste Coignard, 1676, 3. Auflage, Paris 1699, Nachdruck Farnborough, Hants 1966.
- FLOERKE 1805: FLOERKE, HEINRICH GUSTAV: Münze und Münzwissenschaft, Berlin 1805 (= Johann Georg Krünitz's ökonomisch-technologische Encyclopädie oder allgemeines System der Staats-, Stadt-, Haus- und Landwirthschaft und der Kunstgeschichte in alphabetischer Ordnung 97).
- FRÉMONT 1916: FRÉMONT, CHARLES: Le Balancier à vis pour estampage, Paris 1916 (= Études expérimentales de technologie industrielle 48).
- GASPAR 1993: GASPAR, PETER P.: Coining and Die-making Techniques in the 17th Century, in: ARCHIBALD/COWELL 1993, S. 130–142.
- HACHETTE 1811: HACHETTE, JEAN NICOLAS PIERRE: Traité Élémentaire des Machines, Paris 1811.
- HAMMER 1993: HAMMER, PETER: Metall und Münze, Leipzig 1993.
- HAMMER/FRIEBE 2002: HAMMER, PETER und FRIEBE, HANS: Von der Hammerprägung, in: Freiburger Münzblätter 11, 2002, S. 23–36.
- JAKOBI 1982: JAKOBI, HANS W.: De Mechanisatie van het Zeeuwse Muntbedrijf in 1671, in: Archief, Vroegere en latere mededeelingen voornamelijk in betrekking tot Zeeland, 1982, S. 150–175.

- KARMARSCH 1872: KARMARSCH, KARL: Geschichte der Technologie seit der Mitte des 18. Jahrhunderts, München 1872 (= Geschichte der Wissenschaften in Deutschland, Neuere Zeit 11).
- KOLB 1984: KOLB, HANS EMIL: Vom rechten Schrot und Korn, Die Technik des Münzens in Zellerfeld, in: BUROSE, HANS, FRANK, WERNER HARTMUT, KOLB, HANS EMIL und EKKEHARD REIFF: Die Zellerfelder Münze, Vier Beiträge zur Geschichte der alten Münzstätte, Clausthal-Zellerfeld 1984, S. 93–110.
- LABOULAYE 1861: LABOULAYE, CHARLES: Ueber Chéret's Mechanismus zur Bewegung der Schwengel an Prägmaschinen, Durchschnitten etc. durch Dampfkraft, Bericht von C. LABOULAYE, aus dem Bulletin de la Société d'Encouragement, Mai 1861, S. 257, in: Polytechnisches Journal 162 (1861), S. 172–174.
- LÜCKE 2005: LÜCKE, MONIKA (Bearb.): „Hochsicherheitstrakt“ Münze, Die ALTE MÜNZE Stolberg Harz als Produktionsstätte in der archivalischen Überlieferung, Halle (Saale) 2005 (= Hallische Beiträge zu den Historischen Hilfswissenschaften 3).
- LUSCHIN VON EBENGREUTH 1926: LUSCHIN VON EBENGREUTH, ARNOLD: Allgemeine Münzkunde und Geldgeschichte des Mittelalters und der neueren Zeit, 2. Auflage, München und Berlin 1926 (= Handbuch der mittelalterlichen und neueren Geschichte 4).
- MARX 1926: MARX, ERNST: Bericht über ein Dokument mittelalterlicher Technik, in: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie 16, 1926, S. 317–321.
- MARX 1928: MARX, ERNST: Wirtschaftliche Fertigung vor 400 Jahren, in: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie 18, 1928, S. 37–40.
- MATSCHOSS 1909: MATSCHOSS, CONRAD: Matthew Boulton, Zum hundertjährigen Todestage des Begründers der Dampfmaschinenindustrie, in: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie 1, 1909, S. 261–265.
- MECHANICS 1825: Münz-Verfahren auf der k. Münze in England, aus dem Mechanic's Magazine, N. 62–66, in: Polytechnisches Journal 16, 1825, S. 401–422.
- MEDING 1987: MEDING, HENNER R.: Das Klippwerk, in: Numismatisches Nachrichtenblatt 36, 1987, S. 332–333.
- MOSER/TURSKY 1977: MOSER, HEINZ und TURSKY, HEINZ: Die Münzstätte Hall in Tirol 1: 1477–1665, Innsbruck 1977.
- MOSER/TURSKY 1981: MOSER, HEINZ und TURSKY, HEINZ: Die Münzstätte Hall in Tirol 2: 1665–1809, Innsbruck 1981.
- PAULINY 1989: PAULINYI, AKOS: Industrielle Revolution, Vom Ursprung der modernen Technik, Reinbek 1989 (= Kulturgeschichte der Naturwissenschaften und der Technik [Bände ohne Zählung]).

- PAULINY 1998: PAULINYI, AKOS: Revolution und Technik, in: BUCHHAUPT, SIEGFRIED (Hg.): Gibt es Revolutionen in der Geschichte der Technik? Workshop am 20. Februar 1998 aus Anlass der Emeritierung von Akos Paulinyi, Tagungsband, Darmstadt 1999, S. 9–49.
- PRECHTL 1840: PRECHTL, JOHAN JOSEF: Münzkunst, in: PRECHTL, JOHAN JOSEF (Hg.): Technologische Enzyklopädie oder alphabetisches Wörterbuch der Technologie, der technischen Chemie und des Maschinenwesens 10, Stuttgart 1840, S. 224–268.
- SCHLÖSSER 1884: SCHLÖSSER, E[DUARD]: Die Münztechnik, Ein Handbuch für Münztechniker, Medaillenfabrikanten, Gold- und Silberarbeiter, Graveure und technische Chemiker, Hannover 1884.
- SCHNEIDER 2000: SCHNEIDER, KONRAD: Der Beginn der Hessen-Darmstädtischen Münzprägung in Darmstadt und die Münzstätte Nidda 1593–1627, in: Archiv für hessische Geschichte und Altertumskunde 58, 2000, S. 63–90.
- VON SCHRÖTTER 1904: FREIHERR VON SCHRÖTTER, FRIEDRICH: Das Preußische Münzwesen im 18. Jahrhundert, Münzgeschichtlicher Teil, Band I: Die Münzverwaltung der Könige Friedrich I. und Friedrich Wilhelm I., 1701–1740, Berlin 1904 (= Acta Borussica, Denkmäler der Preussischen Staatsverwaltung im 18. Jahrhundert).
- VON SCHRÖTTER 1926: FREIHERR VON SCHRÖTTER, FRIEDRICH: Das Preußische Münzwesen 1806–1873, Münzgeschichtlicher Teil, Band I, (als 1. Folge der 4 münzgeschichtlichen Bände der Acta Borussica), Berlin 1926.
- VON SCHRÖTTER 1930: FREIHERR VON SCHRÖTTER, FRIEDRICH: Wörterbuch der Münzkunde, Berlin 1930.
- SCHULER AG 1939: SCHULER AG (Hg.): Hundert Jahre Schuler 1839–1939, Göppingen 1939.
- SCHULER GMBH 1996: SCHULER GMBH (Hg.): Handbuch der Umformtechnik, Berlin 1996.
- SELLWOOD 1986: SELLWOOD, DAVID: The Trial of Nicholas Briot, in: The British Numismatic Journal 56, 1986, S. 108–123.
- SELLWOOD 1993: SELLWOOD, DAVID: Early Austrian and German Machine Minting, in: ARCHIBALD COWELL 1993, S. 108–114.
- SIEBIST 2004: SIEBIST, ULRICH: Die Stolberger Münzwerkstatt, in: LÜCKE, MONIKA und DRÄGER, ULF (Hg.): „die Mark zu 13 Reichstaler und 8 Groschen beibehalten werde“, Die ALTE MÜNZE in Stolberg (Harz), Leipzig 2004.
- UHLHORN 1935: UHLHORN, FRIEDRICH: Die Erfindung des Walzwerkes und seine Förderung durch Graf Reinhard zu Solms-Lich, in: Deutsche Münzblätter 55, 1935, S. 297–304 (Fortsetzung siehe BAMBERG 1935).

- VELDE 1997: VELDE, FRANÇOIS: A Brief History of Minting Technology, www.chicagofed.org/publications/FrancoisRVeldePublications/technolo.pdf 1997.
- WALTHER 1939: WALTHER, RUDOLPH: Die Entwicklung der europäischen Münzprägetechnik von den Karolingern bis zur Gegenwart, in: Deutsches Jahrbuch für Numismatik 2, 1939, S. 139–158.
- WEDEL 1960: WEDEL, ERNST VON: Die geschichtliche Entwicklung des Umformens in Gesenken, Dissertation TH Hannover, Hannover 1960.
- WEIGEL 1698: WEIGEL, CHRISTOPH: Abbildung der Gemein-Nützlichen Haupt-Stände von denen Regenten und ihren so in Friedens- als Kriegszeiten zugeordneten Bedienten an biß auf alle Künstler und Handwerker [...], Regensburg 1698.